



88

الميكروبات والإنسان

تأليف: د. جون بوستجيت

ترجمة: د. عزت شعلان

مراجعة: د. عبد الرزاق العدواني

د. سمير رضوان

سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب - الكويت



سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب ـ الكويت

صدرت السلسلة في يناير 1978 بإشراف أحمد مشاري العدواني 1923 ـ 1990

88

الميكروبات والإنسان

تأليف: د. جون بوستجيت

ترجمة: د. عزت شعلان

مراجعة: د. عبد الرزاق العدواني

د. سمير رضوان



أبريل 1985

المحتوى

المحتوى
المحتوى
المحتوى

المحتوى

مقدمه المترجم

هذا الكتاب-بين أيدي القراء-كتاب جيد وطريف عن الميكروبات. ولسنا نقول ذلك من باب التحلية والدعاية.. فقد ظهر الكتاب في أربع طبعات؛ كانت الأولى عام 1969، ثم ظهرت طبعته الثانية مزيدة منقحة مع الصور عام 1975، ثم أعيدت في طبعة ثالثة عام 1976، وكانت الرابعة عام 1979. وفي هذا دليل واضح على اهتمام القراء (وذلك في بريطانيا على الأقل).

ومؤلف الكتاب هو الأستاذ جون بوستجيت john Postgate ، كان أستاذا للميكروبيولوجيا في جامعة سسكس Sussex بالمملكة المتحدة. وقد أنفق شطرا كبيرا من حياته يشتغل بالأبحاث العلمية ؛ وبخاصة في الميكروبيولوجيا الكيماوية التي تتعلق ببكتيريا الكبريت وموت البكتيريا، نشأ في أسرة خرج منها أكثر من أستاذ ؛ فقد كان جده أستاذا للآداب الكلاسيكية في جامعة ليفر بول، كما كان جده الأعلى أستاذا للطب في جامعة برمنجهام. وللأستاذ بوستجيت-إلى جانب تخصصه العلمي-هواية موسيقية فهو يكتب الموسيقى الخفيفة، ويقود الفرقة الموسيقية في الجامعة في بعض الأحيان.

ويتناول الكتاب-كما يدل عليه عنوانه-موضوعا من أخطر الموضوعات التيب تمس حياة الإنسان، هو الميكروبات أو الجراثيم. وأول ما يتبادر إلى أذهان السامعين عند ذكر الميكروبات آلام الأمراض

المعدية والأوجاع. ولكن ذلك أحد جوانب الحقيقة. فنحن لا نغالي حين نقول إن حياتنا في جوانبها المتعددة ما كانت لتستقيم عل صورتها المعهودة بغير تلك الميكروبات ! وذاك ما تدور عليه فصول الكتاب..

وإذا كان الإنسان يعتمد عل الغذاء في سبيل حياته وبقائه فللميكروبات دورها في إنتاج المحاصيل الزراعية وتزكية التربة.. وبعضها يستقر في أمعاء الإنسان ويزوده بشيء من حاجاته الغذائية. وتشارك الميكروبات في صناعة الأطعمة المختلفة والكيماويات التي يشق علينا تخليقها في المصانع والمختبرات..

وكذلك يفيد الإنسان من الميكروبات في التخلص من فضلاته الآدمية ونفايات حياته.. ولولاها لغرق الإنسان إلى الأذقان في ركام من فوقه ركام من الخبائث !..

لكن الميكروبات في الجانب المقابل تغزو الجسم وتسبب الأمراض والأوبئة.. وكانت في الماضي تحصد أرواح الناس حصدا، وتنشر ظلال الموت والفجيعة. وهي كذلك تغير على المواد والمصنوعات فتؤدي إلى التلف والتخريب. وقد شاءت إرادة الله أن يتجاوز الخير والشر في هذه الحياة الدنيا وأن يظلا في سجال.. وقد يعجب البعض حين يعلم دور الميكروبات منذ ملايين السنين في تكوين النفط والفحم وبعض المعادن.. وهي كلها عصب الصناعة الحديثة.. ويوشك أن يتحارب الناس في سبيل تامين حاجاتهم منها اليوم.

ومن أعجب الأمور أن دراسة الميكروبات قد كشفت لنا في النصف الأخير من هذا القرن أسرارا في الوراثة كانت خافية علينا من قبل.. . والعلماء يتحدثون اليوم عما يسمونه الهندسة الوراثية، ويعنون بها قدرتهم على إنتاج سلالات ذات سمات خاصة في عالم النبات والحيوان، ولا يقف طموحهم دون تحقيق ذلك في الإنسان.. انه باب في العلم قد يفضى إلى الخير الكثير، لكنه مع ذلك لا يخلو من الشر المستطير !.. .

ويختم المؤلف كتابه بالحديث عن الميكروبات في المستقبل ويذكر فيه نبوءات طريفة. فهولا يستبعد أن يصنع منها الإنسان مأكولاته وبذلك تغنيه عن بعض النقص في محاصيله وغذائه. كما يرى أن هذه الميكروبات سوف تسهم إسهاما كبيرا في كشف المزيد من حقائق الحياة.. وقد يبدو أنها

أحلام من بعد أحلام.. ولكن كثيرا ما صدق القول: إن أحلام اليوم حقائق الغد..

إن هذا الكتاب-كما يرى القراء-كتاب علمي. ولا بد في العلم من أسماء يتفق عليها العلماء، ويفهمون من مصطلحاتها فهما واحدا مشركا فيما بينهم. وكثير من الأسماء العلمية يرجع في جذوره إلى اللغة اللاتينية، وهي اليوم من اللغات الميتة التي لا يتخاطب بها الناس، وإنما يدرسها الدارسون في أقسام الدراسات الإنسانية الكلاسيكية في الجامعات.. وفهم هذه المصطلحات عند العلماء أمر لا بد منه، حتى لا يذهب كل منهم في فهمها كل مذهب ؛ فتختلط الأمور وتبهم المسالك. وسيجد غير المشتغلين بالعلوم هذه الأسماء ثقيلة الوقع على أسماعهم. وليس عليهم بأس، فان الأمر كذلك حتى عند المشتغلين بالعلوم في أول العهد. ويكفي عامة القراء أن يدركوا الفكرة العامة في الموضوع دون أن تصيبهم من تلك الأسماء كلالة أو سآمة..

دكتور

عزت شعلان

١ الإنسان والميكروبات

هذا كتاب عن الجراثيم التي يعرفها العلماء باسم الميكروبات، ويعرفها أولئك الذين يفضلون كلمات طويلة على كلمة قصيرة-باسم الكائنات الحية الدقيقة. تعيش تلك الكائنات غير المرئية في كل مكان على الأرض، توجد فيه كائنات حية كبيرة، كما تعيش كذلك في أماكن عديدة من الأرض لا نستطيع فيها الكائنات الحية الأخرى أن لر طويلا. والحق أن الميكروبات توجد حيثما توجد الحياة على الأرض. بينما تمثل الأحوال البيئية المتطرفة التي تتحملها الميكروبات حدود الحياة الممكنة كما نعهدها.

يطلق علماء الحياة اصطلاح (biosphere) الغلاف الحيوي على تلك القشرة الموجودة على سطح هذا الكوكب والتي تعيش فيها الكائنات تحتل معظم أحياء الأرض، ذلك السطح الفاصل بين الأرض والغلاف الجوي وتنتشر الطيور مجال وجودها بضع مئات من الأقدام في الغلاف الجوي. أما اللافقاريات الحافرة كديدان الأرض والديدان الأسطوانية nematodes فتتعمق بضع ياردات في باطن التربة ولكنها نادرا ما تتجاوزها إلا إذا أزعجها الإنسان. وتنتشر الأسماك في مجال أرحب يتفاوت

بين ما تحت سطح الماء في البحر مباشرة وتلك الأعماق التي تزيد على ميل حيث تعيش كائنات متخصصة غالبا ما تكون مضيئة. أما جراثيم الفطريات والبكتيريا فتنتشر في الجو إلى ارتفاع يبلغ نحو نصف ميل، إذ يذروها الهواء هناك من الطبقات السفلى. وقد بين استطلاع طبقات الجو العليا بوساطة المناطيد منذ عام 1936 أن الفطريات والبكتيريا يمكن أن توجد على ارتفاع أميال عديدة، كما اكتشفت إدارة الفضاء الأميركية القومية حديثا أنها توجد بأعداد متناقصة على ارتفاع يصل إلى 18 ميلا. وهي في مثل هذه المستويات جد نادرة إذ تبلغ أعدادها نحو كائن واحد في كل ألفين من الأقدام المكعبة مقابل 50 إلى 100 كائن في القدم المكعب على ارتفاع يراوح بين ميلين إلى ستة أميال فوق سطح الأرض (وهو الارتفاع المألوف للطائرة النفاثة)، كما أنه لا شك في أن هذه الكائنات في حالة كامنة. ولقد أمكن اكتشاف الميكروبات البحرية في الأخدود العميق للمحيط الهادي على عمق يصل إلى سبعة أميال، وأن هذه الكائنات ليست كافية. كذلك أمكن الحصول على ميكروبات حية في اليابسة من أجواف الصخور (أثناء البحث عن النفط) على أعماق تصل إلى 1200 قدم. وعلى ذلك يمكن أن نقول-إذا تجاهلنا اكتشافات رواد الفضاء-إن الغلاف الحيوي يبلغ سمكه الأقصى نحو 25 ميلا. غير أن العمليات الحية لا تنشط إلا في نطاق سبعة أميال تقريبا على اليابسة وفي البحر وفي الجزء الأسفل من الغلاف الجوي، لكن معظم الكائنات الحية تعيش في منطقة تبلغ مائة قدم أو نحوها. ولو أمكن أن نصغر حجم هذا الكوكب حف يبلغ حجم البرتقالة، لبلغ الغلاف الحيوي-عند أقصى اتساعه-سمك الجزء الملون من قشرة البرتقالة(مع استثناء النخاع الأبيض). في هذه المنطقة الضئيلة من كوكبنا تجري تلك العمليات الكيماوية والبيولوجية الكثيرة التي نسميها بالحياة. وقد انبهر المفكرون منذ بدء التاريخ المدون بأساليب تداخل الكائنات الحية واعتماد بعضها على بعض وتنافس بعضها مع بعضها الآخر. ومن المسلم به عند الكثيرين أن الكائنات الحية يحكمها توازن دقيق، إذ أنه من الناحية العملية، لا يمكن أن تكون الأمور على غير هذا النحو. ومع ذلك فما زال هذا التوازن الدقيق مصدر دهشة دائمة لدى العلماء نظرا إلى تعقده ودقته. ويتجلى التوازن في الطبيعة أوضح ما يكون عندما يقع اختلال فيه. ومع ذلك فحتى

في هذه الحالة يعجب المرء لقدرة الطبيعة على إعادة التكيف بهدوء مع توازن جديد، يحل محل ذلك الاختلال. وقد تطور علم البيئة ecology-وهو العلم الذي يدرس العلاقة بين الكائنات وبيئتها تطورا مكنه من تناول التفاصيل الدقيقة للتوازن في الطبيعة. ويتجلى في الكائنات الحية-بصفة عامة-نموذج من الاعتماد المتبادل على النحو التالي. يعتمد الإنسان والحيوان على النبات من أجل البقاء (والحيوانات آكلة اللحوم تفترس الحيوانات آكلة العشب، ومن ثم فهي الأخرى لا تستطيع أن تعيش بغير النبات). كما أن النباتات بدورها تعتمد على ضوء الشمس، وعلى ذلك فالشمس هي القوة الدافعة التي تضمن استمرار الحياة على الأرض. كل ذلك من البديهيات التي يعرفها حتى تلاميذ المدارس. لكن هناك طائفة ثالثة من الكائنات يعتمد عليها النبات والحيوان على حد سواء، تلك هي الميكروبات. وسوف أتناول هذه الكائنات بشيء من التفصيل في الفصل التالي، لكن من المفيد فيما أظن أن أقدم هنا لأهمية الدور الذي تلعبه في الميزان الحيوي على الأرض وكيف أنها-بصفة عامة-أساسية من أجل بقاء الكائنات الأرقى، وذلك قبل أن أتطرق في فصول قادمة إلى تلك الجوانب التي تؤثر في الجنس البشري أبلغ تأثير. الميكروبات إذن هي تلك الكائنات التي يدعوها الإنسان بأسماء عدة، منها العفن والخميرة والطحالب.. وهلم جرا. فإذا شئنا إطلاق أسمائها العلمية قلنا إنها البكتيريا والفيروسات والفطريات الدنيا والطحالب الدنيا. ومن النافع أن نقدم فكرة عن مدى انتشارها بالقياس إلى الكائنات الأخرى.

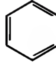
يحتوي كل جرام من التربة الخصبة على نحو مائة مليون من الخلايا البكتيرية الحية يتراوح حجم الواحدة منها بين ميكرون وثلاثة ميكرونات مكعبة (الميكرون يساوي جزءا من ألف جزء من المليمتر، وإذا شئنا استخدام صورة مألوفة فان ألفا من البكتيريا جنبا إلى جنب تماثل رأس دبوس). ويمكن أن نعبر عن هذه المعرفة-بصورة تبدو لي اكثر إبهارا إذ نقول أن هناك نحو مائتي رطل إلى خمسمائة من الميكروبات في كل هكتار من التربة الزراعية الجيدة. وهذا يعني-من الناحية العالمية-أن الكتلة الكلية للميكروبات على هذا الكوكب توشك أن تستعصي على الإحصاء لفرط ضخامتها. وقد تبلغ-طبقا لبعض التقديرات-بالقياس لكتلة الحيوانات في

البر والبحر معا خمسة وعشرين ضعفا (ولست ادري الأرقام الحقيقية لكتلة الميكروبات والحيوانات في العالم. ولعل أحدا لا يدري ذلك لأنه من الأيسر تقدير النسبة في حساب كهذا من تقدير الأرقام المطلقة. ويمكن للإنسان أن يأخذ بعض المناطق على سبيل المثال ؛ فإذا ظهرت الحسابات متشابهة جاز له بحق أن يعتبر النتيجة صحيحة بصفة عامة). تتكاثر الميكروبات بسرعة كبيرة عندما يتاح لها الغذاء والدفء. هناك بكتيريا تنقسم خلاياها مرة كل 11 دقيقة، والكثير منها تتضاعف إعداده مرة كل 20- 30 دقيقة وإبطاؤها تتضاعف أعداده مرة كل ساعتين أو ثلاث ساعات. وهذا بالطبع معدل للتكاثر مذهل إذا قيس بأغلب الكائنات الحية. والخلية الواحدة من بكتيريا ايشيريشيا كولاي Escherichia تنتج كتلة من البكتيريا تزيد عن كتلة الأرض في ثلاثة أيام وذلك إذا توفر لها الغذاء. ولما كانت الميكروبات تبلغ نسبتها نحو 90 في المائة من المادة الحية على هذا الكوكب وتستطيع أن تتكاثر بمعدلات سريعة إذا توفر لديها الغذاء، فمن البديهي أن هذه الكائنات هي المسئولة عن معظم التغييرات الكيماوية التي تحدثها الأحياء جميعا على هذا الكوكب. وهنا ينبغي أن أذكر أنني سوف أدخل شيئا من الكيمياء بين آن وآخر في ثنايا هذا الكتاب وذلك لأننا نحسن فهم أغلب النشاط الحيوي للميكروبات عن طريق الكيمياء. وسوف أجعل الكيمياء في أبسط صورة ممكنة، ولكنني سأفترض أن لدى القارئ بعض العلم بالرموز الكيماوية كان يعرف أن (ن) ترمز لذرة النيتروجين وأن (ص) ترمز لذرة الصوديوم وأن غاز النيتروجين الحر يوجد على هيئة جزيئات ؛ وأن الجزيء الواحد يتألف من ذرتين ويكتب (N_2=ن$_2$) وأن تركيب غاز الميثان هو: ك يد$_4$ CH4 وهذا يعني أن الجزيء منه يتكون من ذرة كربون وأربع ذرات من الهيدروجين، وعندما يكتب الإنسان تركيب الميثان على النحو التالي:

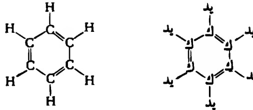


فإن هذا يعني أن ذرات الهيدروجين تتصل مستقلة بذرة الكربون المركزية

في الجزيء وأنها مرتبة بصورة متماثلة حولها. وسوف أفيد من اختزال علماء الكيمياء العضوية للتعبير عن ست ذرات من الكربون مترابطة في حلقة على النحو:



وعند كتابة المركب السابق كاملا (وهو مركب حلقة البنزين) فإنه يبدو كالتالي:



لكن الكيماويين تعلموا منذ عهد بعيد أن كتابة كل هذه الذرات من الكربون والأيدروجين إنما هي مضيعة للوقت.

وسوف أفترض أن لدى القارئ وعيا-من ناحية المبدأ على الأقل-بان الأملاح المذابة تنتشر في صورة أيونات وأن نترات الصوديوم ونترات البوتاسيوم ونترات الكالسيوم مثلا كلها تنتج أيونات النترات في الماء بحيث أن استخدام النبات للنترات من السماد يستوي فيه أن تتوفر على هيئة نترات الصوديوم أو البوتاسيوم أو الكالسيوم. وعلى ذلك فمن الأمور المشروعة أن نتحدث عن النترات (ن ا$_3$) أو الكبريتات (كب ا$_4$ =) وهلم جرا، وان كان من المستحيل أن نحصل عل زجاجة من «الكبريتات» الخالصة..

وإذا سلمنا بهذه المبادئ فسوف أحاول شرح أية مفاهيم كيماوية معقدة عندما نصادفها. وبعد هذه الرحلة الوجيزة فيما يمكن أن يمثل للقارئ «واجبا منزليا». دعنا نعود إلى مسألة أهمية الميكروبات في كيمياء العالم. وفكرتنا التالية عن هذه الأمور هي: أن كل التغييرات الكيماوية التي تحدث على هذا الكوكب تسببها الأحياء عامة. على أن هناك أيضا القليل من

بعض العمليات غير الحيوية التي تحدث: فالبراكين تسبب تغييرات في الصخور المجاورة وفي الجو. والبرق يسبب ظهور أكاسيد النتروجين والأوزون. وكذلك تفعل الأشعة فوق البنفسجية الصادرة من الشمس وتتسبب في نشأة طبقة عليا من الأوزون في الجو تحمينا من أمواج الأشعة فوق البنفسجية الضارة. كما أن العواصف الممطرة والنحر بفعل البحر تسبب تغييرات كيماوية تدريجية في الصخور المجاورة والمعادن عند التعرض لها. وتسبب المعادن المشعة بعض التغيرات الكيماوية في الصخور المجاورة وتحفظ باطن الأرض ساخنا على أن التغييرات الكيماوية البحتة على سطح الأرض تعد تافهة إذا هي قيست بتلك التغييرات التي حدثت في طفولة هذا الكوكب: فكيمياء الأرض نفسها قد خمدت وأصبحت مستترة هادئة. وأوضح التغييرات الكيماوية إنما تتجم من النباتات في البر والبحر. أما الحيوانات فهي من العوامل الثانوية، وتأتي الطاقة اللازمة لهذه التحولات الكيماوية من الشمس. وعلى ذلك فالغلاف الحيوي يمثل نظاما ديناميكيا من التغييرات الكيماوية الناجمة عن عوامل حيوية وذلك على حساب الطاقة الشمسية.

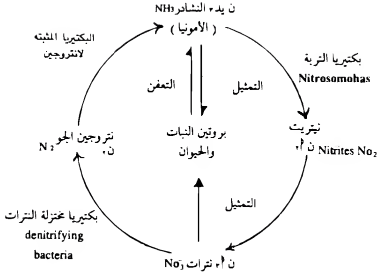
وسنرى في الفصل التاسع كيف أن ظهور الكائنات الحية منذ ملايين السنين قد أدى إلى تغييرات هائلة في التركيب الكيماوي لسطح هذا الكوكب. فتركيب الجو والتربية والصخور تعرضت لتغييرات تدريجية استغرقت في الغالب عشرات الملايين من السنين حتى انتهت إلى نوع الغلاف الحيوي كما نعهده اليوم. ولا شك أنه ما زال في تغير بطئ ولكن متوسط التركيب الكيماوي للغلاف الحيوي ظل ثابتا خلال المليون الأخير الأخير من السنين أو نحو ذلك. ويمكن التعبير عن هذه النقطة بطريقة أخرى إذ نقول أن التغييرات الكيماوية الضخمة التي تحدث على الأرض-والي يسببها أي نوع من النشاط البيولوجي-تتقلب على أعقابها عن طريق نشاط آخر. فإذا أخذنا في الاعتبار العناصر التي تخضع للتحول الكيماوي على هذا الكوكب وجدنا أنها تتعرض لتغييرات دورية من التكوين البيولوجي (أو العضوي) إلى التكوين اللابيولوجي (غير العضوي) وبالعكس مرة أخرى.

ولنأخذ عنصر النتروجين وهو الغاز الشائع اليوم الذي يشغل أربعة أخماس جَوِّنا. فهو يوجد على هيئة جزئيات حرة من النتروجين وهو في العادة جد خامل. وهو ليس ضارا للكائنات الحية وكذلك لا يحترق ولا

يساعد على الاحتراق فهو على العموم ينفر من الدخول في التراكيب الكيماوية التلقائية. ومع ذلك نجد أن الكائنات الحية جميعها تتكون من البروتينات؛ فعضلاتها وأعصابها وعظامها وشعرها والإنزيمات التي تصنع هذه وكل ما عداها تتكون جميعها من جزيئات البروتين. ويبلغ النتروجين نحو 10- 15 في المائة من تركيب كل جزئ من البروتين. وليس النتروجين فيها بداهة على هيئة جزيئات نتروجين، وإنما على هيئة ذرات من النتروجين متحدة بغيرها مثل الكربون والأيدروجين والأكسجين والكبريت، وهلم جرا .. . وجزيئات البروتين-إذا قورنت بجزيئات النتروجين-ضخمة معقدة وتحتوي على عشرات الألوف من الذرات، ومن أجل ذلك يمكن أن تتنوع البروتينات إلى حد كبير في الشكل والوظيفة. ولما كانت البروتينات تكون الجانب الرئيسي من أغلب الكائنات الحية ففي استطاعتنا أن نقول مطمئنين إن نسبة النتروجين في أغلب الكائنات الحية تبلغ نحو 8- 16 في المائة. (فيما عدا الحيوانات التي تصنع حولها قشرة طباشيرية سميكة أو قشرة ن السيليكون فمن الواضح أنها تحتوي على نسبة منخفضة من النتروجين، ومع ذلك فلها التركيب الكيماوي المعتاد، إذا اعتبر الإنسان الصدفة زائدة غير حية واستثناها من حساباته).

من أجل ذلك تحتاج الكائنات الحية إلى النتروجين كي تنمو. وهي عندما تموت فإنها تتعفن وتتحلل ويصبح النتروجين متاحا لكائنات حية أخرى. أما التعفن والتحلل فهما إلى حد كبير نتيجة تأثير الميكروبات على الكائن الحي، والميكروبات تموت هي الأخرى إما طبيعيا أو حينما تلتهمها الحيوانات وحيدة الخلية (البروتوزوا) والديدان الأسطوانية أو غيرها. وبالتدريج يدخل النيتروجين في أيض الكائنات الحية الأكبر كالنباتات والحيوانات والطيور وغيرها، ومن ثم فان هذا العنصر يصبح باستمرار بعضا من مخلوقات جديدة. وبهذا تجري عملية تحول دائم للصورة التي توجد عليها ذرات النتروجين وهي العملية التي يعرفها البيولوجيون باسم «دورة النتروجين». وفي هذه الدورة تعيد بعض البكتيريا النتروجين إلى الجو على هيئة جزيئات النتروجين (وهي البكتريا مختزلة النترات) ثم تعيد بعض البكتريا الأخرى هذه الجزيئات مرة أخرى إلى مركبات عضوية (وهي البكتريا المثبتة للنتروجين). ويستطيع الانسان أن يصور دورة النيتروجين

في المخطط التالي:



في هذا المخطط يستخدم النبات النترات في التربة من أجل النمو وتدخل النترات في تكوين بروتينات النبات والحيوان. ثم تتحلل النباتات والحيوانات بفعل البكتريا منتجة النشادر (الأمونيا). وتستطيع النباتات أن تمتص النشادر لكنها تفضل النترات. وهناك مجموعتان من بكتريا التربة تحول الأمونيا مرة أخرى إلى النترات عن طريق النيتريتات. ثم أن البكتيريا مختزلة النترات الموجودة في التربة وأكوام السماد ونحوها تستطيع أن تطلق النتروجين في النترات على هيئة جزئيات حرة من النتروجين. ويعوض هذا النتروجين البيولوجي المفقود نتيجة للتسرب إلى الجو خلال نشاط مجموعة صغيرة من البكتريا المثبتة للنتروجين. وبعض هذه البكتريا يرتبط بجذور النباتات أو أوراقها، وبعضها الآخر يعيش طليقا في التربة والماء، وسوف نبحث أمرها في الفصل الخامس مرة أخرى. والنقطة التي تهمنا الآن هي أن المدد من النتروجين المثبت (أمونيا أو نترات) يحد من إنتاجية تلك التربة. وعلى ذلك فأعداد الحيوانات أو البشر التي يمكن أن تتغذى من نتاج تلك التربة إنما تعتمد على مدى السرعة التي تتم بها دورة النتروجين

كما تعتمد على مدى نشاط الميكروبات المثبتة للنتروجين الغازي.

وطبيعي أن في الإمكان تجاوز أثر دورة النتروجين إلى حد محدود. فالأسمدة الصناعية تزيد من إنتاج التربة وذلك من خلال تزويدها بالنتروجين المثبت كيماويا.

والعواصف الرعدية والأشعة فوق البنفسجية من الشمس تولد أكاسيد النتروجين في الجودون تدخل من الكائنات الحية، والأمطار تهمي بها في التربة على هيئة نيتريت ونترات ولكن قدرة الأرض على إنتاج النباتات الخضراء، ومن على ثم إنتاج الطعام للإنسان والحيوان على المستوى العالمي ما زالت تعتمد على نشاط البكتيريا المثبتة للنتروجين.

وفي خلال عام واحد يدخل في دورة النتروجين نحو ألف مليون طن من النتروجين.

وقد حسب ك. ك. دلويس. C.C.Delwiche أن كل ذرة نتروجين في الجو تمر في مركب عضوي مرة في كل مليون سنة في المتوسط.

ومن الجليّ أن للميكروبات أهمية أساسية في اقتصاد الأحياء على هذا الكوكب.

وإذا كانت البكتريا المثبتة للنتروجين ذات أهمية أساسية فلا ينبغي لنا أن نفض من شان البقية الباقية.

فبكتريا التعفن تعيد النتروجين في البروتين إلى الدورة بتكوين الأمونيا. ولما كانت معظم النباتات تفضل أن تمثل النتروجين على هيئة النترات اكثر من هيئة الأمونيا فان نوعي البكتريا اللذين يحولان الأمونيا إلى النترات يؤديان وظيفة اقتصادية نافعة (ويطلق عليهما معا بكتريا النترجة) Nitrifying bacteria لكن هذه المزية ليست بغير قصور على كل حال لأن غسل النترات من التربة بوساطة الأمطار أيسر من غسل الأمونيا، وقد ظهر بين الكيماويين الزراعيين في السنين الأخيرة ميل إلى النصح باستخدام أسمدة الأمونيا- التي يحسن النبات تناولها إلى حد فائق-مع استخدام الكيماويات التي تحد من تكاثر بكتريا النترجة.

ودورة الكربون دورة حيوية أخرى ذات أهمية أساسية.

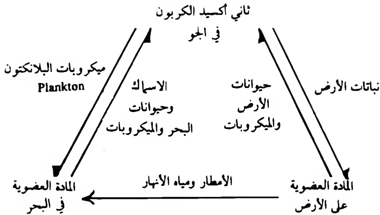
ولهذه الدورة علاقة وثيقة بدورة التغييرات التي يحدثها الأكسجين بالنسبة للكائنات العليا.

أن جميع الكائنات الحية تتنفس، والتنفس في الواقع هو تحويل مركبات الكربون والأيدروجين-التي تكون الغذاء-إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، وذلك في العادة بمساعدة أكسجين الهواء. وعلى ذلك تتجه الكائنات الحية نحو إزالة الأكسجين من الهواء وإحلال ثاني أكسيد الكربون مكانه. أما العملية المناقضة-وهي تثبيت ثاني أكسيد الكربون على هيئة كربون عضوي وتزويد الهواء بالأكسجين-فتنهض بها النباتات الخضراء، إذ تختزل ثاني أكسيد الكربون لتصنع عناصر مادتها بمساعدة الطاقة الناجمة عن ضوء الشمس، وبهذه العملية تطلق أكسجين من الماء على هيئة جزئيات الأكسجين. أن هذه العمليات تتوازن اليوم على النطاق العالمي بحيث يحتوي الجو دائما على الأكسجين بنسبة 21 في المائة وثاني أكسيد الكربون بنسبة 0,3. في المائة. وإسهام الميكروبات الرئيسي في هذه الدورة أدنى من نظيره في دورة النتروجين.

فالميكروبات-في عملية التحلل والتعفن-تفتت بقايا المواد العضوية كالخشب والبراز ونحوها وبذلك تعيد ثاني أكسيد الكربون إلى الدورة. ولكنها في عملها هذا غالبا ما تؤدي إلى انحراف هام في دورة الكربون حيث أن دورة الكربون فيها لا تحتاج إلى الارتباط الضروري بدورة أكسجين. وسوف نصادف في الفصل الثاني البكتريا اللاهوائية التي لا تحتاج إلى أكسجين في تنفسها والتي يمكن أن تنتج مواد كالميثان والأيدروجين وحامض البيوتيريك من المواد العضوية.

وهذه المواد بالغة الأهمية في رواسب المواد العضوية التي لا يتخللها أكسجين بسهولة. أما نواتج البكتريا اللاهوائية فهي على النطاق العالمي بالطبع تتأكسد بوساطة ميكروبات أخرى تستخدم الأكسجين لتطلق في النهاية ثاني أكسيد الكربون. وبهذا يقود الكربون إلى الدوران وتستمر الدورة. ويبلغ معدل دورة الكربون كلها نحو عشرة آلاف مليون طن من الكربون في كل عام. والنباتات العليا على سطح اليابسة تقوم بالجانب الأكبر من عملية تثبيت ثاني أكسيد الكربون. أما في البحار فالميكروبات هي أهم العوامل في تثبيت ثاني أكسيد الكربون وتتألف أغلب المواد العضوية التي تتغذى عليها الأسماك من الطحالب المجهرية والدياتومات(1) Diatoms، والميكروبات التي تطفو في طبقة البلانكتون (2) على سطح البحر. ونستطيع

أن نمثل دورة الكربون على هذا النحو:



وتستغل ميكروبات البلانكتون ضوء الشمس كما تفعل النباتات. وسوف نجد في الفصول التالية أنواعا عديدة من الميكروبات قادرة على تثبيت ثاني أكسيد الكربون باستخدام التفاعلات الكيماوية لا ضوء الشمس. وهي أن كانت ذات أهمية في بكورة الحياة على هذا الكوكب (لا أنها تسهم إلى حد ضئيل في دورة الكربون اليوم، اللهم إلا في بيئات محددة خاصة جدا.

أن العناصر مثل الأيدروجين والحديد والماغنيسيوم والسيليكون والفسفور كلها تدخل في تركيب الجزيئات البيولوجية وتتعرض لتغييرات دورية متشابهة. وتدعو دورة الفسفور-على وجه الخصوص-لبعض القلق لأنها تتعلق بتحول 13 مليون طن من الفسفور تقريبا كل عام من الأرض إلى البحر. وتلعب الميكروبات دورا معينا في هذه الدورة وغيرها من الدورات التي سبق ذكرها، على أنه ليس دورا رئيسيا. ولن نناقش هذا الأمر بالتفصيل. ومهما يكن من شيء فإن هناك دورة بالغة الأهمية لا ينبغي أن نتجاهلها ولو من أجل سبب واحد هو أنها تعتمد اعتمادا خالصا على الميكروبات. فعنصر الكبريت من العناصر التي تدخل في تركيب البروتين وبعض الفيتامينات، والمخلوقات الحية تحتوي على نسبة تتراوح بين نصف وواحد ونصف في المائة من الكبريت. ودورة الكبريت لها أهمية بالغة في تهيئة المدد من ذلك العنصر. ولكننا قبل مناقشتها علينا أن نقدم بعض الأمور الفنية العلمية

ذات الأهمية هنا وفيما بعد في هذا الكتاب، وهي مفاهيم التأكسد والاختزال.

إن الفحم-وهو الكربون-يتأكسد عندما يحرق وتنطلق الطاقة الكيماوية من هذا التفاعل على هيئة حرارة. وتسمى العملية أكسدة لأن ذرات الأكسجين تضاف إلى ذرات الكربون لإنتاج ثاني أكسيد الكربون:

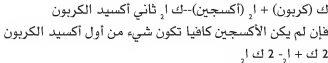
ك (كربون) + ا$_2$ (أكسجين)--ك ا$_2$ ثاني أكسيد الكربون

فإن لم يكن الأكسجين كافيا تكون شيء من أول أكسيد الكربون

2 ك + ا$_2$ - 2 ك ا$_2$

(وأول أكسيد الكربون هذا-بالمناسبة-هو العامل السام في عوادم الغازات من السيارات). ومن ثم فهناك درجات من التأكسد إذ يمكن أكسدة الكربون جزئيا أو كليا. ويمكن للعناصر الأخرى-بالمشابهة-أن تنتج مركبات مستقرة على درجات عديدة من التأكسد.

ويتكون الطعام من مركبات الكربون التي تتأكسد لتنتج ثاني أكسيد الكربون والماء عند استخدام الجسم لها. والمثال النموذجي على ذلك هو الجلوكوز وتركيبه الرمزي

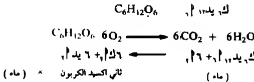


$C_6H_{12}O_6$ ك$_6$ يد$_{12}$ أ$_6$

$C_6H_{12}O_6$ $6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$

وبعض الطاقة في هذا التفاعل يبدو على هيئة حرارة. أما معظم الطاقة فدوره تحريك العمليات الكيماوية المختلفة التي تؤمن وظائف الجسم .

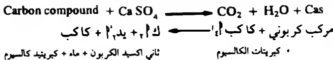
تعيش الميكروبات من خلال تفاعلات أكسدة مشابهة، ولكن هناك بعض الميكروبات التي تقوم بمثل هذه العمليات دون استخدام غاز الأكسجين. فالميكروبات المختزلة للكبريتات مثلا تستخدم الكبريتات:



Carbon compound + Ca $SO_4 \longrightarrow CO_2 + H_2O$ + Cas

مركب كربوني + كا كب أ$_4$ ← ك أ$_2$ + يد$_2$ أ + كا كب

كبريتات الكالسيوم — ثاني اكسيد الكربون + ماء + كبريتيد كالسيوم



وعلى ذلك تتحول كبريتات الكالسيوم إلى كبريتيد الكالسيوم، وتسمى

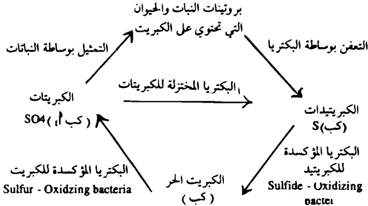
هذه العملية بالاختزال. ويمكن القول بصفة عامة أن تأكسد مادة كيماوية يصاحبه اختزال مادة أخرى. (في الاحتراق مثلا يتم اختزال الأكسجين). والبكتيريا المختزلة للنترات تختزلها بطريقة مشابهة إلى حد كبير:

مركب كربوني + نترات الصوديوم-كربونات صوديوم + نتروجين

وتتعقد الأمور بعض الشيء عندما يشير الكيماويون إلى تفاعلات لا تستلزم الأكسجين قط على أنها تفاعلات كسدة واختزال ؛ ولكن هذا يعني فقط أن التفاعلات المذكورة لها نفس السمات العامة التي للتفاعلات المتعلقة بالأكسجين. ويمكن أن توجد مركبات الحديد مثلا على صورة أملاح الحديدوز (كبريتات ونترات وغيرها) أو أملاح الحديديك، ومجموعة الحديديك في نظر الكيماوي اكثر تأكسدا من مجموعة الحديدوز وإن لم تحتو بالضرورة على قدر أكبر من الأكسجين (أو لم تحتو على أي قدر من الأكسجين بتاتا، فكلوريد الحديديك كل$_3$ ح أكثر تأكسدا من كلوريد الحديدوز كل$_2$ ح).

وتستطيع الميكروبات أن تفيد من الأنواع المختلفة لتفاعلات الأكسدة من أجل الحصول عل الطاقة الكيماوية اللازمة للنمو والحركة والتكاثر بما في ذلك تحويل مركبات الحديدوز إلى الحديديك كما سنرى في الفصل الثاني. ولما كانت تفاعلات الأكسدة تلازم تفاعلات الاختزال فان الميكروبات تحدث بعض تفاعلات الاختزال الهامة أيضا. ويستطيع الإنسان في الظروف المناسبة أن يجد مجموعة من الميكروبات تحدث تفاعلات الاختزال ومجموعة أخرى تؤكسد ما سبق اختزاله. وهذا يحدث بوضوح خاص في دورة الكبريت الحيوية التي تديرها مجموعة من بكتريا التربة والماء تسمى بكتريا الكبريت. (والحق أن العلاقة الحيوية بينها ضئيلة أو معدومة والسمة الأساسية المشتركة بينها هي أن عملية الأيض لديها مبنية على ذرة الكبريت) وفيما يلي دورة الكبريت:

وفي هذه الدورة يأتي الكبريت الموجود في بروتينات الحيوانات من النباتات التي تحصل على الكبريت من الكبريتات في التربة. وتطلق البكتريا الكبريت على هيئة كبريتيد وهو مادة تم اختزالها في عمليات التحلل والتعفن للمواد الميتة. وتستطيع البكتريا الأخرى أكسدة هذا الكبريتيد إلى الكبريت. ثم أن البكتريا من نوع آخر مختلف تزيد من أكسدة الكبريت إلى الكبريتات



والأخيرة هي التي يستطيع النبات أن يستعملها من جديد. ويمكن للبكتيريا المختزلة للكبريت أن تتجاوز الجزء العلوي من الدورة المبينة في الشكل إذ تعيد اختزال الكبريتات إلى كبريتيد، وهي تحصل على الطاقة اللازمة لذلك بأكسدة المواد العضوية ومن ثم تستمر دورة الكبريت الميكروبية دون الحاجة إلى الكائنات العليا قط. وغالبا ما توجد بكتريا الكبريت هذه في الطبيعة، في ينابيع المياه الكبريتية وفي المياه الملوثة ونحوها. وربما كانت هذه البكتريا هي الأنماط الحية السائدة على هذا الكوكب في فجر التاريخ كما سنرى في الفصل التاسع. وهي تسمى الأنظمة الكبريتية Sultfureta، وتعد مسئولة عن العديد من الظواهر الاقتصادية كما سنوضح في فصول قادمة من هذا الكتاب. ولسوف يأتي ذكر البكتريا المشاركة في دورة الكبريت فيما بعد.

تلعب الميكروبات إذن دورا هاما في التغيرات الدورية التي تتعرض لها عناصر الحياة على الأرض. ومن هنا تكون لها أهمية متصاعدة في اقتصاد الأرض، ذلك بان الكائنات العليا سرعان ما ينتهي وجودها لولا الميكروبات. ومع ذلك فالميكروبات تجمع بين هذه الأنشطة الأساسية وعدد من الوظائف الثانوية التي قد تكون قيمة أو تافهة أو مزعجة للجنس البشري. فالميكروبات على سبيل المثال تسبب الأمراض. والمرض من الناحية البيولوجية ذو قيمة من حيث انه يحد من التزايد التجاوزي لأعداد الحيوانات، على أنه من فضل القول أن نذكر مدى الإزعاج الذي يسببه المرض للإنسان المتحضر

في عالم اليوم. وتعتبر عمليات التلوث والتعفن مفيدة حينما تقع في مكانها المناسب، فصرف المجاري عندنا يعتمد عليها-ولكنها أن خرجت عن نطاق السيطرة صارت مزعجة ومدمرة-والميكروبات تخمر الأطعمة منتجة طيبات لذيذة وأنبذة ولكن الطعام الملوث خطير. وتساعدنا الميكروبات في عمليات الهضم والتغذية ولكنها قد تسبب اضطراب بطوننا في بلد غريب. ولقد كونت الميكروبات خلال أزمنة جيولوجية عديدا من أعظم الرواسب المعدنية قيمة في العالم، ولكنها عندما تسبب تآكل الحديد الصلب والخرسانة فإننا لا نرحب بإمكاناتها العجيبة. وهكذا تمضي الحال فالميكروبات لا هي طيبة ولا هي سيئة على وجه العموم، وفي الإمكان أن تكون هكذا أو كذلك. والأمر الهام الذي يخفى على الكثيرين هو تأثيرها الهائل على الاقتصاد ورفاهية الجنس البشري. وذلك في الواقع هو موضوع هذا الكتاب.

كيف تلعب الميكروبات دورا في حياتنا ؟ ما عملها ؟ ولماذا ؟. تلك أسئلة بعيدة المدى إذ يدرك القارئ الصبور أن من الأوفق أن نتساءل، هل هناك في حياتنا اليومية أية جوانب لا تتعلق بها الميكروبات. وسوف ينبغي علينا أن نوجز في بعض المواطن وأن نتجاوز في أخرى. ولكنني أظن أننا قد نعذر في ذلك ونحن نتناول كتابا يهدف إلى تعريف القراء بموضوع غير مألوف. هلم إذن نلتقي بتلك المجموعة الضخمة من الكائنات الخفية أو التي تعز رؤيتها والتي نسميها الميكروبات.

2 الميكروبيولوجيا

سبق أن شاركت في إنشاء المجموعة القومية للبكتريا الصناعية، وهي تشبه «مصرفا» أسس في بريطانيا، ويمكن الحصول منه على سلالات من الميكروبات ذات الأهمية الصناعية. ولهذا المصرف وظيفة هامة بحق فهو ليس مجرد مستودع للميكروبات المستخدمة في الصناعة والأبحاث غير الطبية وإنما يحفظ أيضا البكتريا النمطية المسئولة عن الفساد والتحلل بحيث يستطيع التقنيون أن يحصلوا على سلالات مرجعية reference strains لمقارنتها بتلك الميكروبات التي قد تسبب مشكلة ما. وكان من المعتاد في أيام نشأة المصرف الأولى أن تأتى أفواج الزائرين، وفي إحدى المناسبات جاء لزيارتنا وفد صغير من كبار الموظفين وزوجاتهم في فرنسا. ولم أفهم قط سببا لمثل هذه الزيارات إلا أنها لون فج من التسلية التي تتم على سبيل المباهاة. وما زلت أذكر جيدا-على كل حال-كيف بدأ الانزعاج على الزوجات ولم يكن من قبل قد تفهمن معنى كلمة «بكتيريا» ثم تحقق فجأة أنهن يتوسطن مجموعة من الميكروبات. فاخرجن جميعا مناديلهن على الفور وغطين أنوفهن وغادرن المكان بأسرع ما استطعن في أدب.

ويربط العامة دائما بين البكتريا والميكروبات وبين المرض. وللميكروبات وقع على الأذن يشوبه الإنزعاج والتقزز. ونادرا ما تنجلي الحقيقة، وهي أن غالبية هذه الأحياء ليست ذات خطر بل هي نافعة. والواقع أن يدي الإنسان وشعره وفاه وجلده وأمعاءه تعج بالبكتريا، وكل الطعام يحتوي على البكتريا الحية وجراثيمها إلا ما كان منه حديث الطهي أو معقما. وفي الأشربة والتربة والغبار والهواء أعداد كبيرة من الميكروبات اغلبها غير ضار وكثير منها نافع، وأقلها البكتريا التي تسبب المرض (البكتريا الممرضة) ما عدا بالطبع في الأماكن التي تنتشر فيها الأمراض.

أننا نطعم وننام ونعيش ونتنفس بين الميكروبات. وهي حقيقة لم يتوصل إليها الإنسان إلا ببطء خلال السنين المائة الأخيرة أو نحوها. وقد أدت هذه المعرفة إلى تقدم هائل في الصحة العامة والطب في القرن العشرين كما سنرى في الفصول القليلة التالية. ولقد ناقشنا بعض آثار الميكروبات على وجود الإنسان في الفصل الأول، وسنتعمق اكثر في تفصيلات هذا الموضوع فيما بعد. وأقترح أن نقدم في الفصل الحالي-بطريقة رسمية-بعض الميكروبات التي سوف نتعرض لذكرها فيما بعد، وأن نجعل القارئ على ألفة مع طريقة تقسيمها وعملها بصفة عامة، وكيف أن دراستها تبلورت في فرع من البيولوجيا يعرف باسم الميكروبيولوجيا[1].

ويجوز لنا أن نقول إن لويس باستير Louis Pasteur [2] هو الذي أرسى الأساس لعلم الميكروبيولوجيا وإن كانت الميكروبات معروفة قبل أواخر القرن التاسع عشر. وقد أثبت باستير-وكان كيماويا فرنسيا-أن التخمر والتعفن يرجعان إلى الميكروبات. وكان المظنون أنهما عمليات كيماوية بحتة. ولا يعنينا الآن أسلوب باستير في إثبات ذلك فهو الآن في ذمة التاريخ، وإنما الأمر الهام-من وجهة التطور في الميكروبيولوجيا-هو تأكد باستير من احتواء الهواء على عديد من الميكروبات يمكن أن تقع عشوائيا على أية مادة معرضة للتعفن فتتعفن أو تتخمر بسببها. وعلى ذلك يحتاج العلماء القائمون على دراسة الميكروبات وفهمها إلى ابتكار وسائل لفرزها وحفظها وفصل الأنواع المختلفة منها. ولما كانت الميكروبات عديدة وخافية على العين المجردة فغالبا ما نقدر من الناحية العملية أن نحصل على ميكروب فرد ودراسته، فهو في المقام الأول بالغ الضآلة، وهو في المقام الثاني ينقسم-إن لم يمت-إلى اثنين

جديدين ثم إلى أربع وهكذا. والميكروبيولوجي مضطر بصفة عامة إلى دراسة عدد عظيم من الميكروبات مرة واحدة واستنتاج سلوكها العام من دراسة الجميع معا. ويتحمل الدارس فوق هذا المشقة في سبيل الاطمئنان إلى كون الميكروبات متجانسة قدر الإمكان وأن المجموعة النقية منها (وتسمى عادة بالنوع أو السلالة species or strains) لا تختلط بميكروبات دخيلة مصدرها شعر الدارس أو جلده أو الهواء. أما كيف يؤدي الدارس عمله هذا فسوف نناقش هذا الموضوع في الفصل الرابع. والأمر الأساسي هنا-هو أن طرق الدراسة في الميكروبيولوجيا جد مختلفة عن بقية البيولوجيا بصفة عامة. وفي مقدورك أن تتناول كلبا أو كلب البحر أو نباتا ثم تلاحظه من جوانب مختلفة وأنت تقوم بأعمال متعددة. وقد تستطيع عمل هذا مع الميكروب غير أن ذلك لن يغنيك كثيرا. وكما أن الكيماويين يبحثون سلوك الملايين بعد الملايين من جزيئات المادة ونادرا ما يستخلصون المعرفة من دراسة جزئ واحد فكذلك الميكروبيولوجيون يدرسون آلاف الملايين من الميكروبات ونادرا ما يستخلصون المعرفة من دراسة الميكروب الفرد. وليست هذه المسالة مسالة اختيار في كلتا الحالتين وإنما ترجع إلى غياب الطرق المتاحة الآن لدراسة الآحاد المفردة دراسة مثمرة في العلمين. ولهذا السبب تعرف الميكروبيولوجيا كعلم بطرق الدراسة المتبعة فيها اكثر مما تعرف بالموضوعات التي تشملها. والحقيقة أن البيولوجيين يطبقون كثيرا من طرق الميكروبيولوجيا عندما يدرسون الخلايا المفردة في الحيوانات [3] متعددة الخلايا كما يحدث في زراعة الأنسجة.

ويحق لنا بوجه عام أن نقول إن الميكروبيولوجيا تهتم ا للكائنات التي تتكون من خلية واحدة أو بضع خلايا. ويعد المجهر دائما ضروريا لرؤية الميكروبات لأن خلاياها صغيرة. والموضوع بالطبع يتداخل في ميادين علمي النبات والحيوان. ولكن يجوز لنا أن نعتبر الاختصاص الأول للميكروبيولوجي متعلقا بدراسة ذلك القسم الكبير من الكائنات الحية ذات الخلية الواحدة والتي يعرفها البيولوجيون باسم البروتِستًا Protista.

ومن الضروري هنا أن نصنف الأنماط الرئيسية للميكروبات التي تهمنا في الفصول التالية. وهنا يظهر فارق آخر عن البيولوجيا التقليدية. أن تقسيم النباتات والحيوانات له أهمية تطورية كما يقول البيولوجيون، أي أن

المخلوقات المتقاربة في سلم التطور للكائنات الحية توضع في أقسام متقاربة. أما الأنواع التي يزيد اختلافها فهي في أقسام متباعدة بحيث يعرف الإنسان لأول وهلة أن الأبقار مثلا أقرب إلى الجاموس منها إلى الأحصنة ولكن ثلاثتها تتقارب فيما بينها اكثر من مقاربتها للكلاب، ثم تكون الأربعة مجموعة منفصلة عن الضفادع وهكذا.. أما التقسيم بالنسبة للميكروبات فهو أقل تحديدا بكثير. ويمكن أن نقول على سبيل المثال إن الطحالب والفيروسات متباعدة أما في نطاق البكتريا مثلا فالكائنات التي تتشابه في مظهرها وسلوكها من الجائز أنها قد تطورت عن أسلاف مختلفة. وفي الإمكان تقسم الميكروبات تقسيما تطوريا إلى حد ما، ولكنه تقسيم غير دقيق، وغالبا ما يقسم الميكروبات تبعا لما تعمله لا تبعا لافتراض ما حول كيفية تمكنها من هذا العمل. بعد هذه المراجعة البسيطة سوف أتناول تقسيم الميكروبات حسبما يغلب الرأي اليوم.

الطحالب (ومفردها طُحُلب) (4) Algae-(Alga)

هذه نباتات وحيدة الخلايا كالتي يراها الإنسان على الجدران في أحواض أسماك الزينة وهي التي تحيل لون الماء في المستنقعات والنفايات السائلة إلى الأخضر. أما الأعشاب البحرية وكثير من أعشاب المستنقعات فهي في الحقيقة طحالب عديدة الخلايا ولكنها تدخل في ميدان عالم النبات عادة ومن الطحالب النمطية ذات الخلية الواحدة: السينيديزموس Scenedesmus والكوريللا Chlorella والكلاميدوموناس Chlamydomous. وهذا الأخير شائع جدا في المياه الخضراء ويتكون الطحلب من خلية واحدة بيضاوية يبلغ طولها نحو عشرة ميكرونات (01، ملليمتر) وهي تستطيع السباحة (أو هي متحركة بلغة البيولوجيين) بوساطة زائدتين شعريتين (هدبين) والخلايا خضراء ويعود اللون الأخضر إلى اليخضور (الكلوروفيل) الذي يحتويه جزء من الخلية يسمى الكلوروبلاست Chloroplast (وهذه تشغل كل خلية الكلاديموناس تقريبا). وهناك نواة كما في الكائنات العليا وجدار للخلية يتألف من السيليولوز. والطحالب الخضراء-كالنباتات تحتاج إلى الضوء للنمو، وبوساطته تختزل ثاني أكسيد الكربون إلى السكر والنشا، وهكذا تتكاثر. وهي لا تستخدم الغذاء العضوي قط، وكل ما تحتاج إليه في سبيل

النمو هو الضوء وثاني أكسيد الكربون وبعض المعادن. ويعرف الميكروبيولوجيون المخلوقات التي لا تستخدم سوى المواد المعدنية باسم ذاتية التغذية autotrophs وتقع الطحالب الخضراء في قسم خاص من ذاتيات التغذية يدعى ذاتيات التغذية الضوئية photo-autotrophs نظرا لحاجتها إلى الضوء. أما الكائنات متباينة التغذية[5] rlererotrophs فهي-على نقيض الكائنات ذاتية التغذية-تلك التي تحتاج إلى الغذاء العضوي مثلي ومثلك. وسوف نستعمل هذه التسميات في الفصول اللاحقة.

وهناك مجموعة من الطحالب تدعى الطحالب الخضراء المزرقة [6] لأن الكثير منها عليه مسحة من الزرقة تشوب لونها الأخضر(وهناك طحالب محمرة وأخرى بنية اللون)-والطحالب الخضراء المزرقة ليست فيها كلورو بلاستات كما تفتقر إلى أنوية تقليدية، ولها صفات بيولوجية متميزة أخرى. وهي تهم الميكروبيولوجيين لعلاقتها الوثيقة ببعض البكتريا، وقد تمثل حلقة تطورية بين البكتيريا والطحالب.

البروتوزوا (ومفردها بروتوزون (protozoa-protozoon)

هذه حيوانات وحيدة الخلايا، والمثل النمطي لها الأميبا التي يعرفها تلاميذ المدرسة، والبروتوزوا متباينة التغذية. والواقع أنها أعقد الميكروبات-ولأمر ما لا تحظى باهتمام الميكروبيولوجيين (ولعل السبب يرجع إلى طائفة متخصصة من علماء الحيوان-وهم علماء البروتوزوا-يحسبونها ملكا خاصا لهم !). والواقع أن البروتوزوا عظيمة الفائدة في بحوث التغذية والوراثة. وربما كان البراميسيوم paramecium-وهو حيوان ضئيل مغزلي الشكل-واحدا من الميكروبات الأولى التي لاحظها أنطون فان ليفنهوك، Antonie Van Leeuwenhoek مكتشف الميكروبات في القرن السابع عشر. أما الأستازيا Astasia-وهي بروتوزون بيضاوي متحرك-فلها أهميتها لأن ابنة عمها المماثلة تقريبا وهي اليوجلينا Euglena تمتلك كلوروبلاستات. ومن ثم فهي ترتق الفجوة بين الطحالب والبروتوزوا أي بين النبات والحيوان. وتسبب البرتوزوا مرضا أو مرضين نادرين في النباتات والحيوانات والإنسان [7]، ولكن تأثيرها على الإنسان-فيما نعلم-أقل من تأثير الميكروبات الأخرى. فلن أذكر-إذن-مزيدا من الكلام عن تقسيمها هنا، وان كانت ستذكر بين الفينة والفينة في

الفصول التالية.

الفطريات (ومفردها فطر Fungi-Fungus)

أن فطريات عش الغراب mushyooms والغاريقون toadstools مألوفة لدى المشتغلين بالنبات، الهواة والمحرفين منهم عل السواء، ولكنها نادرا ما تمثل مادة لدراسة الميكروبيولوجيين. أما الأعفان ومسببات الزغب الفطري والصدأ الفطري بالإضافة إلى الخميرة فهي عل العموم هامة جدا وقد أصبحت ميكروبات شرفية عند الميكربيولوجي نظرا لتركيبها وأيضا البسيط، بالرغم من أن كثيرا منها ليس وحيدا الخلية. وينتج عفن الخبز الشائع نيوروسبورا Neurospora جراثيم حمراء تعطي اللون المميز للخبز العفن (وإن كان عفن مشابه موجودا أيضا هو اليوروتيوم Eurotium) أما الألوان الضاربة إلى الزرقة فهي تعود إلى فطر الأسبرجيلس (Aspergillus)[8]. وعفن الخبز الرمادي يسببه فطر ميوكورMucor وكثيرا ما ببدو على الجبن المتعفن فطر البنسيليوم Penicillium الشهير بحق. أنواع الخميرة المستخدمة في الخبيز وفي صناعة البيرة هي من ضمن الفطريات كما أن التربة العادية غنية بنوع صغير بسيط من الفطريات خيطية الشكل تسمى اكتينومايستلت Actinomycetes[9]، وهذه الكائنات-بصفة أساسية-شبيهة بالنباتات، فهي تنمو كالخيوط التي تتفرع أحيانا وتنتشر بتكوين الجراثيم (التي تقابل البذور في النباتات الراقية) ولكنها تخلو من اليخضور، ولذلك تعجز عن عملية التمثيل الضوئي. وهي متباينة التغذية، أي أنها تحتاج إلى المواد العضوية حتى تنمو، ولذلك فهي توجد عادة في جميع أنواع المواد العضوية المتحللة تقريبا.

ولها قدرة خاصة على هدم المواد المقاومة مثل الخشب والجلد ونحوها كما سنرى في الفصل السابع.

وترتبط بعض الفطريات في حياتها بأنواع خاصة من الطحالب فتصنع كائنات مركبة تسمى الأُشْنْ Lichens وهي في هذه الأحوال تستطيع النمو في بيئات قاحلة للغاية كأسطح المنازل والصخور الجرداء ونحوها، وذلك اعتمادا على التغذية الذاتية التي تتمتع بها الطحالب. أما المزية التي تكسبها الطحالب-إن كانت هناك مزية-من هذه المشاركة فهي مسالة غامضة.

البكتيريا (ومفردها بكتريوم Bacteria-bacterium)

هذه تسمية جامعة بدلا من كلمة الجراثيم التقليدية Germs. والبكتيريا كائنات مجهرية دقيقة لها أواصر قربى بالفطريات ويراوح طول الخلية أو قطرها عادة بين ميكرون واحد واثنين. ويوشك إلا يظهر فيها تركيب داخلي. وقد كانت أول ما اكتشف من الميكروبات المسببة للأمراض، وإن كنا اليوم نعلم أسبابا للمرض بين الفطريات والفيروسات والبرتوزوا أيضا. والبكتريا-في العادة-تبلغ من الضآلة حدا لا يتيح رؤيتها واضحة إلا بأقوى المجاهر. وهي تبدو جميعا متشابهة إلى حد كبير، وان كان المعروف من أنواعها وسلالاتها يعد بالآلاف المؤلفة. وهناك ثلاثة أشكال رئيسية: العصي (الباسيلات Bacilli) والكرات (Cocci) والواويات (Vibrios) وبعض العصيات خيطية الشكل وهناك أشكال أقل عددا وهي اللولبيات Spirilla التي تبدو كحرفS أو السبيروكيتات التي تبدو متموجة Spirochaetes. وعندما تتكاثر البكتيريا فإن الخلية بعد أن تبلغ أقصى حجم لها تنشط إلى اثنتين. وقد تعجز الخلايا الوليدة عن الانفصال فتنمو على هيئة تجمعات أو سلاسل. وبعض البكتريا متحرك وبعضها ينتج جراثيم، وهو عندئذ يصمد أمام الحرارة أو الجفاف. وليس للبكتريا تزواج جنسي وان كان المعروف عن بعض السلالات أن لها لونا بدائيا من الاتصال الجنسي.

وأغلب البكتريا متباين التغذية أي أنها تعتمد على مواد عضوية مجهزة لطعامها. وهي تحتل مركزا وسطا بين البروتستا ؛ ذلك بان هناك أصنافا من البكتيريا تنتمي إلى أغلب المجموعات الرئيسية الأخرى. فبعض البكتريا مثلا تحتوى على نوع خاص من اليخضور وتقوم بالتمثيل الضوئي. وهي تشبه الطحالب الخضراء المزرقة ويمكن أن تتغذى ذاتيا. والبعض الآخر من البكتريا شبيه بالفطريات في خصائصه وهو يتدرج بطريقة خفية نحو الأكينومايسيتات Actimomycetes التي يدرجها كثير من الميكروبيولوجيين في عداد البكتيريا. وتبلغ بعض البكتيريا حجما بالغ الضآلة بحيث لا تظهر تحت أقوى المجاهر الضوئية وتقع المايكوبلازما Mycoplasmas بين البكتيريا والفيروسات (وسيلي ذكرها) وهي نتف من البروتوبلازم رقيقة لا شكل لها، ولها أشكال معينة مثل حرفـL التي تتخذها البكتريا الحقيقية أحيانا. والمايكوبلازما تسبب أمراضا بين الماشية، وبعضها يحتوي على مادة كيماوية

تسمى ستيرولات sterols، وهو ما يشير إلى علاقة بيولوجية مع البروتوزوا والحيوانات. ومن المحتمل أن تكون بديللو فريو Bdello Vibrios بكتريا حقيقية ولكن حجمها أصغر، فهي دوايات ضئيلة يبلغ طولها من ١ , -3، من الميكرون. [10] وهي تعيش في التربة متطفلة على ما فيها من البكتيريا العادية. ويستطيع الإنسان أن يزرعها على بكتيريا أخرى. وتعتبر الريكتسيا Rickettsiae أصغر أنواع البكتيريا (وقد ظن يوما أنها من الفيروسات). وهي جسميات مستديرة [11] يبلغ قطرها نحو 2، من الميكرون، وتسبب بعض الأمراض كالتيفوس وحمى الخنادق. في الإنسان والحيوان.

الفيروسات (Viruses)

هذه الكائنات أصغر من البكتريا بنحو 10- 100 مرة. ويتراوح طولها بين 2 و-0 , 02 من الميكرون. وقد أصبحت هامة في السنين الأخيرة كأسباب رئيسة للأمراض كما سنرى في الفصل التالي. وقد تحكم الإنسان في أغلب الأمراض البكتيرية اليوم، ولكن الفيروسات مازالت في معظمها غير خاضعة لسيطرة الإنسان والحد الفاصل بين الفيروسات وأصغر البكتيريا مثل بدللوفبريو والركتسيا غير واضح. وتعد الفيروسات مسئولة عن كثير من أمراض النبات (كالذبول والتقشر ونحوها) وأمراض شلل الأطفال ونزلات الرد وغيرها في الإنسان، والحمى القلاعية بين أمراض أخرى في الماشية، وأمراض الأسماك وكائنات أخرى غيرها دون ريب. وتهاجم الفيروسات البكتريا أيضا، وقد أطلق الميكربيولوجيون اسما خاصا هو لاقم البكتيريا (البكريوفاج)bacteriophage على الفيروس المسئول عن أمراض البكتريا. وهناك قسم من فيروسات البكتريا يسمى لاقم البكتيريا المعتدل (البكتيريوفاج المعتدل). temperate phage، . ويبدو أنه يعيش دون أضرار على عائلة حتى يحدث من الجهد ما يظهر العدوى.

وتقع الفيروسات على حافة الكائنات الحية. وليس لها على سبيل المثال أيض خاص بها فهي لا تتنفس أو تهدم مركبات الكربون أو تثبت ثاني أكسيد الكربون أو تعمل شيئا من هذا القبيل. وإنما تعوق أيض المخلوق الذي تعديه في سبيل تخليق عدد اكبر من الفيروسات.. وعندما يموت عائلها أو في حالة الكائنات العليا عندما تموت الخلايا المصابة وتتحلل فان

مئات عديدة من جسيمات الفيروسات تنطلق، ويمكن أن تزيد من انتشار العدوى. وبعض الفيروسات يسلك مسلك الجزيئات الكيماوية الثابتة عندما لا يعدي العائل. فالفيروسات لا تموت. والواقع أن بعض فيروسات النبات قد تم تركيزها وبلورتها واختزانها في المختبر. وأنت إذا أخذت مادة متبلورة من الزجاجة وأعديت كائنا بأقل القليل منها ثم استطعت إلى تجني كميات هائلة من تلك البلورات بعد عدوى الكائن فهل تعد تلك البلورات حية أم ميتة ؟ وإذا لا توجد إجابة مباشرة على هذا السؤال فسنتركه للدارسين وفلاسفة اللغة يكبون عليه. أما نحن فسنعتبر الفيروسات حية تماما فيما يتصل بأثرها على الجنس البشري وسنعدها كالميكروبات في هذا الكتاب.

جسيمات دون الفيروسات-Subviral particles:

عند إعداد هذا الكتاب (في أوائل عام 1967) ظهرت تقارير عن جسيمات أقل حجما من الفيروسات ولها خصائص مشابهة تقريبا، وهي تسبب أمراض الانحلال في الإنسان والحيوان. ومرض سكريبي scrapie-الذي يصيب الجهاز العصبي في الأغنام-يسببه مثل هذه الجسيمات. ولها خصائص مدهشة منها مقاومة الغليان والقدرة على البقاء مدة عامين بعد التعرض للفورمالين المطهر القوي. ويمكن أن تسبب جسيمات مشابهة في الإنسان مرض التصلب المنتشر dissiminated sclerosis[12] ومرضا من أمراض المناطق الحارة يسمى كورو kuru، ولا نملك سوى الإشارة إلى هذه الجسيمات هنا حيث إن المعروف عنها جد قليل.

ومن الخصائص الهامة للميكروبات قدرتها على البقاء مرتبطة بكائنات أخرى. وقد صادفنا الأُشُن من قبل وهي كائنات مركبة من الطحالب والفطريات. وسنعرف في الفصل الخامس أهمية البكتيريا التي تعيش في أمعاء الحيوان. وسنتعرض كذلك لمجموعات خامة من البكتيريا المتثبتة للنتروجين التي تعيش في جذور النباتات، وعندئذ فقط تثبت نتروجين الجو، وبذلك تزود النبات بعنصر غذائي أساسي. بل أن هناك ارتباطات أوثق فالبكتيريا قد تكون جزءا متكاملا من بروتوبلازم البروتوزوا، والفيروسات غير الضارة قد تصبح جزءا من جهاز الوراثة في البكتيريا. وفي مقدورنا أن نتصور أن كثيرا من صفات الكائنات العليا المتطورة إنما

نشأت من ميكروبات ارتبطت بها من مراحل مبكرة من تطورها كما سنبحث أخيرا في الفصل العاشر والحادي عشر.

إن أسلوب الميكروبيولوجيين في تقسيم الميكروبات هام جدا عند المتخصص لسبب واضح هو أن الإنسان لا يستطيع درس الميكروبات دون تمييز ما يتناوله ويتحدث عنه. ومهما يكن من شيء فعلينا أن نهمل دقائق التقسيم للميكروبات في مراجعة عامة كهذه لأن الذي يهمنا في المحل الأول هو ما تفعله الميكروبات. ومن اجل ذلك السبب تناولنا الميكروبات فيما سبق تناولا عاما قصرناه على تحديد الأنواع الغالبة التي نصادفها فيما بعد. أن تقسيم الميكروبات عالم عسير متغير، والسبب في هذا يجلو أحد الخصائص الهامة للميكروبات من وجهة نظرنا، وهو قدرتها على التكيف. فلو انك أخذت ميكروبا لا يستطيع النمو في وجود سكر اللبن المسمى Lactose مثلا ثم زرعت مزرعة من بضعة آلاف من الملايين من سلالته فان واحدا من كل مائة ألف من هذه السلالة على التقريب قد يكتسب القدرة على استخدام اللاكتوز. وستظل سلالة هذه الميكروبات المتغيرة قادرة على استخدام اللاكتوز. ولنفترض مثالا آخر هو أن لديك مجموعة من الميكروبات يمكن لقدر من البنسلين أن يمنع نموها. فلو انك أعطيت المجموعة جرعة ضئيلة من البنسلين لا تقدر على منع نموها جميعا فان البقية القليلة من الميكروبات الحية تتكاثر، وتصبح سلالتها قادرة على مقاومة قدر اكبر من البنسلين إذا قورنت بأسلافها. ولو كرر الإنسان العملية مرة تلو مرة مع زيادة تركيز البنسلين في كل مرة لاستطاع أن يستنبط سلالات من الميكروبات لها قدرة فائقة على مقاومة هذا الدواء. وأخيرا فلو أننا-على سبيل مثال ثالث-أخذنا بكتيريا مكونة من عصيات مفردة متفرقة وزرعناها في بيئة ملائمة لكنها ليست البيئة المثلى لها (كان نجرد البيئة من المغنسيوم مثلا أو نزودها بأقل القليل من مادة مطهرة) فان أشكال البكتريا تتغير تماما إذ قد تبدو في صورة خيوط طويلة ملتوية كالحيات أو تبدي نتوءات غريبة بل أنها قد تلون البيئة أي أن تركيبها الكيماوي يتغير، وسوف تبدو وكأنها ميكروبات مختلفة تماما. ولاشك أن في هذه الأمثلة كفاية للدلالة على كيفية تغير خصائص الميكروبات تبعا لأسلوب معالجتها وطبقا لمصدرها. أن قدرة الميكروبات على التحول فائقة جدا بحيث أن المشكلة

الرئيسة في تقسيم الميكروبات هي اكتشاف خصائصها الثابتة المتميزة حقا، لا مجرد إطلاق أسماء على هذه الوحوش الصغيرة.

إن تكيف الميكروبات يعني من الناحية العملية أننا نجد في جميع بيئات اليابسة تقريبا ميكروبات-حية أو كامنة-قادرة على النشاط الكيماوي الحيوي بجميع أشكاله. وربما كان التنوع الكيماوي للميكروبات أعجب سماتها كمجموعة من الكائنات. وسنبحث مدى هذه الإمكانات فيما تبقى من هذا الفصل.

لقد أوجزنا القول في التقسيم «البيولوجي» للميكروبات وهو نظام يشبه-من ناحية المبدأ-تقسيم الحيوانات الفقارية على نحو حصان-كلب-ضفدع، وان كان تقسيم الميكروبات اقل التزاما بالناحية التطورية. ولكن هناك أساليب أخرى غير الأسلوب التقليدي في تقسيم الحيوانات، ويمكن أن تكون هذه الأساليب نافعة جدا في مجالات خاصة. ومن الأساليب الواضحة أن يتم التقسيم تبعا للبيئة: فهناك حيوانات قطبية أخرى تعيش في المناطق المعتدلة وثالثة في المناطق الحارة أي أن الحيوانات تتكيف للمعيشة في مجال واسع من الحرارة. وهناك حيوانات صحراوية تعودت عل الجفاف الفائق وحيوانات مائية تتمتع بالبلل الزائد. ومن التقسيمات النافعة للحيوانات تقسيم يستغل عاداتها الغذائية، وعلى ذلك نجد أكلة اللحوم واكلة الأعشاب واكلة اللحوم والأعشاب معا. وهناك تقسيم آخر للحيوانات يأخذ في الاعتبار فترة نشاطها فنجد نشاط البعض ليليا والأخر نهاريا، وهناك الحيوانات التي تظل كامنة-في حالة بيات-أثناء الفصول الباردة أو الجافة. ومن التقسيمات الثانوية الأخرى ما يشمل تقسيم الحيوانات إلى طفيلية أو غير طفيلية، وبرية أو أليفة، ومتوحشة أو هادئة. ولهذه التقسيمات جميعا مزاياها وهي تتجاهل تماما التقسيم «الطبيعي» أو البيولوجي. ولهذه التقسيمات «غير الطبيعة» في البيولوجيا العامة أهمية ثانوية في العادة، ولكنها في الميكروبيولوجيا غالبا ما تتمتع بقدر اكبر من الأهمية وذلك نظرا لقصور في نظام التقسيم التقليدي السابق ذكره. ولسوف نعتبر الأنظمة هذه الأكثر أهمية بالنسبة لموضوعنا، وسنبحث بعضها. ولنبدأ في تقسيم الميكروبات تبعا لنوع البيئة التي تزدهر فيها.

إن الإنسان-وغيره من الثدييات كما يعرف أغلب الناس-يحتاج إلى ظروف

فيزيائية وكيماوية محددة أن كان له أن يعيش أملا فحرارته يجب أن تكون في حدود 35- 40 درجة مئوية ويجب أن يتنفس هواء يحتوي على نسبة 25 في المائة من الأكسجين و 03. في المائة من ثاني أكسيد الكربون تحت ضغط يبلغ نحو 760 ملليمتر من الزئبق. وفي مقدور الإنسان أن يتحمل انحرافا مؤقتا عن هذه الظروف، ولكن جسمه مزود بأساليب داخلية للحفاظ عليها : كتنظيم الحرارة وسرعة التنفس ؛ فهي تتعدل تلقائيا تبعا للتغيرات في البرودة والحرارة وثاني أكسيد الكربون. وتركيز الملح في الدم (الملوحة) تنظمه الكليتان بدقة. فسرعة التنفس ووظيفة الكليتين تتحكمان في درجة حموضة الدم. والواقع أن الثدييات إنما تصمد أمام الاختلافات في البيئة الأرضية بالتحكم في بيئات الجسم الداخلية بدقة فائقة. أما ذوات الدم البارد من الحيوان فلها قدرة اكبر على تحمل اختلاف الحرارة، وهي فيما عدا ذلك شديدة الانضباط. وأما النباتات فهي تتحمل بل وتزدهر في الأجواء التي يزداد فيها ثاني أكسيد الكربون، وهي في بعض الحالات تتحمل التربة المالحة أو الحامضة أو شديدة الجفاف. ولكنها تحتاج أيضا إلى الهواء والضوء والحرارة المعتدلة كي تصح. وقد تعلمت النباتات والحيوانات أن تنمو وتتكاثر على اليابسة، ولكن ذلك يتم بالتحكم في حالتها الباطنية بدقة كي تحمي خلاياها من التغيرات الخارجية.

والميكروبات-في معظمها-مائية. وتنمو بعض الفطريات الخيطية في الهواء وعلى السطوح الرطبة كالخبز المتحلل، ولكن جميع البكتريا والبررتوزوا والطحالب والفيروسات والبروتستا. وحيدة الخلايا حقا-تحتاج إلى بيئة مائية تنمو فيها. وقد يكفي اغلبها من البيئة المائية مجرد طبقة مجهرية من الماء على ورقة شجرة أو على الجلد أو في التربة أو على مادة هلامية، ولكنها في الحقيقة لا تستطيع النمو أبدا خارج الماء. وان لم يلزم أن تموت بالضرورة عند جفافها. فكثير من البكتيريا والعفن ينتج جراثيم ، وهي أجسام مقاومة تستطيع الصمود أمام الجفاف عشرات السنين ج لا مجرد بضع سنين. وقد استطاع الدكتور بيتر سنيث peter Sneath أن يخرج أعجب منحنى للموت عرف في الميكروبيولوجيا عندما درس عينات من التربة ملتصقة بنباتات قديمة مضغوطة ومحفوظة في كيو Kew [13]. فقد وجد جراثيم بكتيرية حية في عينات يرجع تاريخها إلى القرن السابع عشر(ولكن

ليس قبل ذلك). وقد وجد قبر توت عنخ آمون معقما من الناحية البكتريولوجية عندما تم فتحه في سنة 1923 لأول مرة بعد 3000 عام من إغلاقه. وعلى ذلك يبدو أن جراثيم البكتيريا لا تعيش إلى الأبد وان كانت تحيا سنين عديدة. أما الفيروسات فلا جراثيم لها، ولكنها تتحمل الجفاف إذا كان هناك قدر ضئيل من الروتين في الوسط السائل الذي جفت فيه (كما يحدث دائما في رذاذ العطاس مثلا). وإذا جفت الفيروسات فأنها تبقى إلى الأبد فيما نعلم. ومن المؤسف أن وسائل التعرف على الفيروسات المجهولة لم تكن متاحة عند فتح مقبرة توت عنخ آمون، (وهي في الواقع لما تزل غير متاحة).

وتموت اغلب البكتيريا التي لا تنتج جراثيم إذا جفت جفافا شديدا، ومع ذلك فان بعضا منها يمكن حمايته إذا وجد شيء من البروتين حوله: فقد تعيش بعض البكتريا في المخاط الجاف العالق بمنديل (والمناديل شأنها شأن الملابس الآخذة في الجفاف تعد من اكثر الأدوات الحضارية الشائعة قدرة على العدوى من الناحية الميكروبيولوجية ولكن مزيدا من ذلك في الفصل الثالث).

وتعتبر قدرة الميكروبات على الدخول في «حياة موقوفة» كلما تعقدت الظروف من أهم صفاتها العامة. تصنع البكتريا والعفن حينما تنتج جراثيم وتدخل في حالة الكمون نتيجة الجفاف، ومثل ما لدي بعض البكتريا والبروتوزوا من القدرة على إنتاج أجسام مقاومة نسبيا تسمى الحويصلات. وقد لاحظنا في الفصل الأول أن في الإمكان العثور على الميكروبات بعمق عدة أميال في غلاف الجو الخارجي. وكلها تقريبا في الحقيقة جراثيم من عفن كلادوسبوريوم وألترناريا cladosporium,Alternaria، ومعها بكتريا كامنة من مجموعة ميكروكوكاس Micrococcus يدروها الهواء من طبقة الجو الدنيا. وليس من المحتمل أن الميكروبات تتكاثر وهي محمولة جوا، وان كان من المفهوم أن يحدث مثل ذلك التكاثر على جسيمات من الغبار الرطب لها صفات مناسبة وقدرة على البقاء معلقة في الهواء. والميكروبات الكامنة هامة جدا في الانتشار إذ تكون في حالة الكمون الرئيسة عندما تنتشر حولنا في كل مكان.

ويقتل التجميد Freezing كثيرا من الميكروبات، وهنا يستطيع البروتين

حمايتها مرة أخرى، ويبدو أن التربة تستطيع ذلك أيضا. وتحتوي المناطق الدائمة التجمد في القطب الشمالي والجنوبي على بكتيريا حية وفطريات. واعجب الحقائق عنها أن الكثير من البكتيريا هناك محبة للحرارة thermophilic. وهذا يعني أنها تحتاج إلى حرارة عالية غير مألوفة من اجل النمو. وتبلغ الحرارة اللازمة لنمو مثل هذه البكتيريا في المعامل عادة 55-70 درجة مئوية واسخن حمام حار يقدر الإنسان على تحمله تراوح حرارته بين 45- 50 درجة مئوية، أي أن الكائنات العادية سرعان ما تسلق وتموت عند درجات الحرارة التي تنمو عندها البكتيريا محبة الحرارة. وتعيش البكتيريا محبة الحرارة بصفة طبيعية في الينابيع الحارة والآبار الارتوازية الحارة والبيئات الجغرافية الحارة، وهذا أمر مفهوم إلى حد كاف. ولكن لماذا توجد مثل هذه البكتيريا من التربة العادية في المناطق المعتدلة بل وحتى في المناطق دائمة التجمد ؟ مازال هدا من المسائل المحيرة في أيكولوجية الميكروبات. [14] ومعنى هذا في الواقع أن البيئات الحارة مثل أجهزة التدفئة المركزية وأبراج التبريد ونحوها يمكن أن تتعرض للتلوث الميكروبي، شانها شان أية بيئة أخرى.

ولا توجد كائنات محبة للحرارة إلا بين الميكروبات، وتستطيع بعض البكتريا أن تبدي تحملا خارقا للحرارة. فالمياه المنبثقة من ينابيع Yellow في المنتزه القومي في الولايات المتحدة تغلي ودرجة حرارتها 92 مئوية، وهناك رواسب قائمة من بكتيريا عصوية صغيرة تتكاثر عند تلك الحرارة في مياه بعض الينابيع. وقد درس الأستاذ ت. د. بروك T.D.Brock من جامعة إنديانا الكائنات الدقيقة في تلك المنطقة، ووجد أن نوعا من البكتريا الخيطية يسمى فليكسيبكتريوم Flexibacterium يترعرع في درجة حرارة تبلغ 83 مئوية. أما الحرارة القصوى للطحالب الخضراء المزرقة فيبدو أنها نحو 75 درجة. أما الفطريات والطحالب الحقيقية فتحمل حرارة تصل إلى 60 درجة، وهي تبلغ 50 درجة بالنسبة للبروتوزوا و40 درجة بالنسبة للحشرات. ومن الواضح أن الكائن كلما ازداد تعقيدا هبطت درجة الحرارة القصوى التي يتحملها.

إن الحرارة فوق 80 درجة مئوية تقتل اغلب الميكروبات حتى معظم المحبة للحرارة منها. ومع كل فان جراثيم بعض البكتيريا-

الكلوستريدياclostridia-تكون مقاومتها بالغة جدا للحرارة. فالماء الغالي مثلا يقتل جراثيم عفن الخبز في 10 دقائق تقريبا بينا تتحمل جراثيم بعض الكوستريديا غليان الماء مدة ست ساعات بل أن بعضها يتحمل 5 دقائق من البخار عند درجة 120 في وعاء الطهي بضغط البخار.

ويقتل الماء المالح الميكروبات، وهذا هو السبب في إمكان حفظ أطعمة كاللحم والسمك بالتخليل في وسط شديد الملوحة. والأشربة السكرية المركزة لها تأثير مشابه. وتكفي الملوحة في مياه البحر لقتل اغلب (ليس جميع) بكتيريا المياه العذبة والفيروسات وهذا أمر يستوجب الشكر على أهل بريطانيا العظمى حيث أن جزرهم يحيط بها اليوم بحر من المجارى المخففة. ومع كل فهناك عالم ميكروبي كامل متكيف للحياة في البحر، وقد ظهر فرع من الميكروبيولوجيا-هو الميكروبيولوجيا البحرية-يتناول هذه الكائنات بالدراسة وحتى سوائل التخليل المالح والمحاليل السكرية المحافظة تعديها بكتيريا متخصصة، وأنواع من الفطريات والخميرة يمكن أن تنمو في مثل هذه البيئات الغريبة. والمربى مثل شائع في المنزل عندما تتعفن وتبدأ ؤ التخمر. ويسمى العلماء الميكروبات التي تقاوم المحاليل المركزة من الملح والسكر بمحبة الملوحة[15] halophiles. وهي-كما توجد في الأغذية وماء التخليل المالح-تظهر في التجمعات الطبيعية للمياه الملحة. ويرجع اللون البني الضارب للحمرة في مياه كثير من البحيرات المختلطة في الشرق الأوسط إلى طحلب محبر للملوحة يسمى دناليلا Dunaliella.

وقد فرغنا الآن من الحديث عن البكتريا في البحر. أن معظم ماء البحر شديد البرودة، وتتغير الحرارة في الطبقة العليا فقط تبعا للفصول (وهي الطبقة الحراريةthermosphere) وتوجد الطبقة الباردة psychrosphere حيث تظل الحرارة-بين 4- 10 درجات مئوية طول العام. وتقع هذه الطبقة تحت مستوى معين يسمى المنطقة الحرارية الفاصلة thermocline (ويعتمد عمقها إلى حد ما على خط العرض وفصول السنة) وتمثل محيطات الأرض جميعا اكثر من 90 في المائة من الطبقة الباردة psychrasphere. وفضلا عن ذلك يزيد الضغط في البحر بنحو ضغط جوي واحد كلما تعمقا عشرة أمتار تقريبا. ماذا إذن عن الميكروبات التي تعيش في هذه المنطقة أنها عجيبة كما قد يظن القارئ، فمعظمها محب للبرودة والكثير منها محب

للضغط barophilic. ويعني هذا الكلام أن هذه الميكروبات تنمو فقط عند الحرارة المنخفضة والضغط العالي. وقد ظل الشك قائما لسنوات طويلة في وجود بكتيريا محبة للبرودة حقيقة. وكان السبب الرئيس أن الميكروبيولوجيين نسوا-بكل بساطة-أن يضعوا عيناتهم في الثلاجة عند نقلها من البحر إلى المختبر. ومن ثم ماتت اغلب هذه البكتريا قبيل دراساتها، ذلك لأنها تموت بسرعة إذا زادت درجت الحرارة عن 20 مئوية وإنما عاشت رفيقاتها من البكتريا الأمتن. أن دراسة الميكروبات المحبة للضغط barophilic أعسر، ونحن في حاجة إلى أجهزة خاصة قوية يمكن أن تحدث ضغطا يتراوح بين 500-1000 ضغط جوي كما هو الحال مثل في عمق المحيط الهادي. ومن المؤكد أننا لم نكتشف أبدا كثيرا من الميكروبات التي تعيش في مثل هذه الأعماق الساكنة. وإنما يمكننا فقط-حتى في المختبرات المتخصصة- زراعة تلك الميكروبات التي تتحمل فترة وجيزة من الضغط «المنخفض».

ومن طرائف النمو تحت الضغوط العالية أن البكتريا تبدي مقاومة اشد للحرارة عند هذه الضغوط المرتفعة. وقد استطاع الأستاذ زوبلZobell أن يستنبت من بئر نفط بكتيريا تتحمل المعيشة تحت ألف ضغط جوي كما تتحمل الحرارة عند 104 درجة مئوية، وهي حرارة تفوق درجة غليان الماء تحت الضغط الجوي العادي.

وعلى الجانب الأخر فالقليل من الميكروبات العادية يتحمل ما يقترب من الفراغ شريطة أن تكون الخلايا مبللة. وفي الإمكان زراعة اغلب البكتريا اللاهوائية (انظر فيما بعد) في أوعية أفرغت من الهواء وليس فيها سوى قليل من بخار الماء فوق سائل المزرعة. وهي بصفة مريحة جدا في المختبر، ولكنها مزعجة تماما إذا تسللت مثل هذه الميكروبات إلى الأغذية المحفوظة في أغلفة مفرغة من الهواء.

ولا تتحمل البكتريا وأغلب الفيروسات الأحماض، حتى الحموضة الضعيفة كحموضة الخل تمنع نمو أغلب البكتريا. وهذا هو السبب في جدوى التخليل، ذلك بان بكتريا التعفن العادية يتوقف نموها في وجود الخل وان عاشت بعض البكتريا آلتي تنتج الأحماض، هذه الأخيرة في الواقع تساعد في عملية التخليل بما ينتجه من أحماض (انظر الفصل الخامس). أما الخمرة والعفن فهي تفضل-في الجانب المقابل-حموضة

خفيفة. والسبب-دون ريب-أن بيئتها العادية هي عصير الفاكهة وإفرازات النبات والمواد المتخمرة. وأما الأحماض المعدنية القوية كحامض الكبريتيك والايدروكلوريك فهي-على كل حال-قاتلة لأغلب الميكروبات، لذلك فمن دواعي العجب أن نجد ميكروبات لا تتحمل حامض الكبريتيك فحسب وإنما هي تنتجه في الواقع. فبكتريا الكبريت التي تسمى ثيوباسلاس thiobacilli تؤكسد الكبريت أو خامات البيريت Pyrite منتجة حامض الكبريتيك وهي تزاوج بين هذه التفاعلات وتثبيت ثاني أكسيد الكربون على نحو يشابه إلى حد كبير ما تعمله النباتات الخضراء من ربط الطاقة المستفادة من ضوء الشمس بعملية مماثلة لتثبيت ثاني أكسيد الكربون. وسوف نتعرض لهذه البكتريا في الفصلين السادس والسابع. وهي ذاتية التغذية ولكنها تختلف عن تلك التي صادفناها من قبل في هذا الفصل تحت عنوان الطحالب لأنها تربط عملية كيماوية بحتة-لا عملية كيموضوئية-بالبناء البيولوجي والنمو. وتسمى هذه الكائنات بذاتية التغذية الكيماوية تميزا لها عن ذاتية التغذية الضوئية التي تستخدم ضوء الشمس كما تفعل النباتات.

وعلى ذلك يمكن تقسيم الميكروبات تبعا لعلاقاتها الحرارية إلى ميكروبات محبة الحرارة المرتفعة thermophiles ومحبة الحرارة المعتدلة mesophiles ومحبة البرودة psychrophiles، وكما يمكن تقسيمها تبعا للملوحة إلى ميكروبات عادية وأخرى محبة للملوحة halophiles، وتبعا للضغط إلى ميكروبات عادية وأخرى محبة للضغط barophilic، وتبعا لمقاومة الحرارة والجفاف حسب قدرتها على إنتاج الجراثيم أو عجزها، وتبعا لتحملها للحموضة فهناك الميكروبات محبة الحموضة acidophiles، . ولهذه الأقسام أقسام مناظرة في عالم الحيوان. مثل حيوانات المناطق القطبية والمعتدلة والحارة وحيوانات صحراوية ومائية وغير ذلك من تقسيمات الحيوانات التي أوردناها من قبل. ولنتطرق الآن إلى تقسيم الميكروبات تبعا لعاداتها الغذائية. ولمثل هذا التقسيم أهمية اكبر مما لتقسيم الحيوانات إلى آكلات اللحم ، وآكلات العشب.

تعبر الميكروبات-من الناحية الغذائية-الفجوة الفاصلة بين النباتات والحيوانات، كما أن لدى هذه الكائنات أنواعا من التغذية لا وجود لها قط بين الكائنات العليا. وأجدر هذه الأنواع بالذكر التغذية الذاتية كتلك التي

تحدث في بكتريا الكبريت السابق ذكرها. وسوف نذكر المزيد فيما بعد عن التغذية الذاتية الكيماوية. فإذا عدنا إلى موضوع الحموضة وجدنا أن بكتيريا الكبريت تمنع نمو الميكروبات الشائعة عندما تنتج العصيات الأحماض في ينابيع الكبريت والمياه المتسربة من مناجم البيريت Pyrites. إلا أن بيئة كاملة دقيقة من الكائنات التي تتحمل الحموضة كالخميرة والأكتينومايسيتات والبكتيريا وحتى بعض البروتوزوا تنمو هناك، وكلها تعتمد مبدئيا على ثاني أكسيد الكربون الذي ثبتته البكتيريا ذاتية التغذية الكيماوية التي نمت هناك في المحل الأول. وكما تعتمد الأحياء المتباينة التغذية كالإنسان والحيوان على النباتات كي تعيش في الظروف المتعادلة على هذا الكوكب (أو بتعبير أدق في ظروف خفيفة الحموضة جدا)، كذلك نجد في البيئات الحامضية بنوع خاص عالما صغيرا من الميكروبات يمكن أن ينمو كعالمنا ولكن مستقلا عن ضوء الشمس.

وتمثل بكتيريا الكبريت thiobacilli مجموعة صغيرة نوعا من الميكروبات كيماوية التغذية chemotrophic. وهي كما رأينا منذ قليل تزاوج بين أكسدة مركبات الكبريت وتثبيت ثاني أكسيد الكربون. والتفاعلات الأخرى التالية هي تفاعلات تجريها أنواع أخرى من البكتريا من اجل التغذية الذاتية الكيماوية:

أكسدة الأيدروجين إلى ماء (بواسطة ايدروجينو موناس) Hydrogenomonas

أكسدة الأمونيا إلى نيتريت (بواسطة نيروسوموناس)

أكسدة النيتريت إلى نترات (بواسطة نيتروبكتر Nitrobacter

أكسدة أيونات الحديدوز إلى الحديديك (بواسطة ثيوباسلاس فيرو أكسيد انس Thiobacillus Ferro-oxidans

أكسدة الميثان إلى ماء وثاني أكسيد الكربون (بواسطة ميثانوموناس) Methanomonas

أكسدة الكبريتيد إلى الكبريت (بواسطة ثيوفلم thiovulum وغيره من بكتريا الكبريت).

وإذا انزعج القارئ من الكيمياء في هذه التفاعلات فلا داعي لذلك. ولا سبب هناك يدعو إلى كتابة المعادلات الكيماوية الصحيحة لهذه العمليات

(فاغلبها أولي وواضح على كل حال إذا تذكر الإنسان أنها تحدث في الماء). ذلك بان المسالة الأساسية هي أن عددا من التفاعلات الكيماوية البحتة تحدث، ويمكن أن تستخدمها الميكروبات كمصادر للطاقة بديلة عن ضوء الشمس في سبيل البناء الأولى للمادة البيولوجية. والعمليات إلى السابق ذكرها تستلزم وجود الهواء. أما تفاعلات التغذية الذاتية التي تستغني عن الهواء وضوء الشمس فهي-فيما نعلم-نادرة. ومع ذلك فقد تكد وجود حالة أو حالتين ثيوباسيلس دينايتر يفيكنز Thiobacillus denitrificans-وهي أحد أنواع بكتيريا الكبريت تعيش من أكسدة الكبريت في الهواء غير أنها تستطيع عند غياب الهواء أكسدة الكبريت مختزلة أثناء ذلك أيونات النترات، ويتحول الكبريت إلى حامض الكبريتيك بينما تتحول النترات إلى غاز النتروجين ويزاوج الميكروب بين هذا التفاعل واختزال ثاني أكسيد الكربون.. وكذلك ميكروب ميكروكوكس دينايتر يفيكنزMicrococcus denitrificans يستطيع النهوض بعملية مشابهة مستخدما الأيدروجين لاختزال النترات.

وتحتاج بعض البكتريا إلى كل من الضوء والتفاعل الكيماوي معا من أجل التغذية الذاتية فبكتريا الكبريت الملونة-التي سيأتي ذكرها أيضا في الفصل السادس-تؤكسد الكبريتيد إلى الكبريت شريطة أن تتعرض للإضاءة، وهي في هذه الأحوال تثبت ثاني أكسيد الكربون وتنمو. وتبدو أهمية هذه العملية في كون الهواء غير ضروري على شرط أن يوجد كل من الضوء والكبريتيد أي أن هذه البكتيريا تنمو في غياب الهواء كلية. وتسمى الميكروبات التي تنمو بمعزل عن الهواء «لا هوائية» وهي شائعة جدا كما سنرى بعد قليل. ولكن الكائنات اللاهوائية ذاتية التغذية تبدو نادرة، وأغلبها يحتاج إلى الضوء فيما عدا ثيوباسيلس thiobacillus وميكروكوكاس دينايترنيكنز Micrococcus denitrificans. وهناك أنوع عديدة من البكتريا تستخدم الضوء في النمو كما تفعل النباتات ولكنها تختلف في أمرين: الأول حاجتها إلى بعض المواد العضوية وهو ما لا يحتاج إليه النبات، والأمر الأخر-على نقيض النبات-أنها لا تنمو بوساطة التمثيل الضوئي photosynthesis في وجود الهواء (وعلى الإنسان أن يتحفظ فهي تستطيع النمو عادة في الهواء بمعزل عن الضوء)[16]. وتكون هذه البكتيريا ملونة دائما وان لم تكن بالضرورة خضراء، بل إن الخضرة ليست شائعة بينها. أما الألوان الحمراء فهي شائعة جدا

بين هذه البكتيريا (ويعود ذلك إلى كميات كبيرة من الكاروتين تغلب على الكلوروفيل الأخضر).

ويقتصر النمو من خلال التغذية الذاتية الكيماوية على البكتيريا ولا يوجد في الفطريات والبروتوزوا وهو ليس موجودا في الفيروسات بالطبع. والقليل من الطحالب الخضراء المزرقة يستطيع أكسدة الكبريتيد ولكن أغلب الطحالب تقع ضمن الكائنات ذاتية التغذية الضوئية العادية كالنباتات الخضراء.

وإذ نحن نتناول التنوع الكيماوي للميكروبات علينا أن نذكر هنا بكتريا الحديد. وهذه مجموعة من البكتريا معظمها حنطي الشكل أو في هيئة أعناق [17] ملتوية متفرعة، وتوجد في المياه الغنية بالحديد. وغالبا ما تسبب هذه البكتريا رواسب الحديد البنية على الصخور والأحجار في جداول الجبال، وتؤكسد هذه البكتريا أيونات الحديدوز الذائبة إلى صيغة الحديديك. وقد كان المظنون زمنا أن هذا التفاعل يسمح بالتغذية الذاتية الكيماوية، ويبدو الآن أن الدليل على هذا غير مقنع وقد يكون الميكروبيولوجيون مع ذلك مخطئين إذ أن العملية تبدو قليلة النفع إلا إذا اتجهت الرواسب نحو تركيز المواد العضوية بوساطة الامتزاز adsorption كما يمتز الفحم الروائح-وبذلك تمكن البكتيريا من الغذاء بسهولة اكبر، وقد اقترح البعض هذا التفسير. [18]

إن تنفس الميكروبات أو عدمه [19] يعد من جوانب الأيض التي لا نظير لها بين الكائنات العليا، ومع ذلك فهذا الأمر يهيئ طريقة هامة في تقسيم البكتريا. وقد ذكرنا منذ برهة قسما من البكتيريا التي تسمى لا هوائية، إذ هي تعيش بغير الهواء. وكل الكائنات العليا تحتاج إلى الهواء (أو على الأقل إلى غاز خامل فيه 21 في المائة من الأكسجين) وإلا ماتت. وبعض أنسجة النبات كالبذور مثلا تستطيع التنفس زمنا وجيزا دون الهواء، كما أن بعض الحيوانات البدائية كالديدان الاسطوانة ويرقات الحشرات تبدو قادرة على تحمل النقص في الأكسجين إلى حد كبير. ولكن أيضها يعتمد أساسا على استخدام الأكسجين في أكسدة المواد الغذائية. وتستطيع الخميرة وبعض أنواع العفن وكثير من البكتريا (وبصفة عامة لا يصدق ذلك على البروتوزوا والطحالب) أن تنمو لا هوائيا (ولا تبالي الفيروسات بهذا الأمر، ذلك بالطبع

لأنها تعتمد على الأنشطة الأيضية في عوائلها على كل حال). وتشيع البكتريا اللاهوائية وتنتشر في الطبيعة كالبكترياالهوائية سواء بسواء. وهي تمول هوائيا بإحدى طريقتين: إما بتكسير جزيئات الغذاء إلى كسور أصغر بحيث تتولد الطاقة دون مشاركة الأكسجين وأما باستخدام عامل مؤكسد بديل عن الأكسجين. ونستطيع أن نسمي هاتين العمليتين: التخمر والتأكسد على التوالي.

إن مثالا نموذجيا للتخمر هو التخمر الكحولي الذي تحدثه أنواع من الخميرة، فهي تحلل سكريات الفاكهة (وأساسا الجلوكوز) إلى الكحول وثاني أكسيد الكربون. وهي سلسلة من التفاعلات المتتابعة تمد الخميرة بالطاقة الكافية للنمو والتكاثر دون حاجة إلى الهواء. وكثير من الأعفان والبكتريا-إن حرمت من الهواء-تقدر على مثل هذه التخمرات فتولد ثني أكسيد الكربون بالإضافة إلى نواتج مثل حامض اللبنيك lactic acid وحامض السكسنيك succinic والكحول الايثيلي ethyl alcohol والكحول البيوتيلي butyl alcohol. ويستطيع أغلب هذه الميكروبات أن يستخدم الهواء أن كان متوفرا، وفي هذه الحالة تتم أكسدة الجلوكوز والنواتج الأخرى إلى ثاني أكسيد الكربون. وهناك على كل حال بكتريا أخرى تستطيع أن تنمو فقط في غياب الأكسجين وتسمى هذه: البكتريا اللاهوائية الإجبارية obligate anaerobes تمييزا لها من البكتريا اللاهوائية الاختيارية Facultative وبعض الميكروبات من جنس الكلوستريديوم Clostridium-وقد سبق ذكرها فيما قبل-لا تنمو إلا في غياب الهواء. وعلى ذلك تزدهر في البيئات الملوثة أو المتعفنة، حيث تكون الميكروبات الأخرى قد استهلكت كل الهواء المتاح. وهي تخمر السكاكر والأحماض الأمينية الناتجة من المواد الكربوهيدراتية والبروتينية. وهي تولد-من البروتين بصفة خاصة-نواتج ثانوية كريهة الرائحة مثل البتومينات ptomaines (وهي أمينات ناتجة من البروتينات). وتتميز الكلوستريديا بإنتاج الجراثيم وهذه الخاصية تمنحها قدرة مقاومة الحرارة والجفاف، وتجعلها خطيرة في صناعة الأغذية، ولكن هناك أيضا ميكروبات لا هوائية إجبارية لا تنتج جراثيم كالبكترويدات bacteroides التي توجد في أمعاء الماشية وفي البن. وعادة لا تحتوي المعدة الأولى في الحيوانات المجترة على الهواء لكنها غنية ببكتريا التخمر. وهي إحدى البيئات الطبيعية القليلة

التي يمكن أن توجد فيها البروتوزوا اللاهوائية.

أما القسم الثاني من البكتريا اللاهوائية-وهي اللاهوائية المؤكسدة-فتعمل عملا مختلفا وهي كلها من البكتريا بغير استثناء. وهي تستخدم أيونات مثل النترات أو الكبريتات أو الكربونات-بدلا من الأكسجين-لأكسدة الغذاء العضوي فتصبح هذه المواد مختزلة. وقد صادفنا نوعين من البكتريا المختزلة للنترات من قبل وهما ثيوباسلس دينايترفيكنز Thiobacillus denitrificans وميكروكوكس ديناتير فيكنز Micrococcus denitrificans وهما المثلان الوحيدان المحققان للميكروبات اللاهوائية ذوات التغذية الذاتية الكيماوية. وكثير من البكتيريا العادية تستطيع استخدام النترات محل الأكسجين في التنفس، وهي تختزل النترات عموما إلى نتريت فقط وليس إلى غاز النتروجين، ولكن البكتريا التي تختزل النترات إلى النتروجين تزدهر في أكوام الروث والسماد والأوحال الملوثة، وهي هامة في دورة النتروجين (انظر الفصل الأول) كبكتريا سالبة للنتروجين denitrifying. وأغلب البكتريا السالبة النتروجين اختيارية. أعني أنها تستطيع أيضا استخدام الأكسجين إذا أتيح لها. ولا يصدق هذا على البكتيريا التي تستخدم الكبريتات أو الكربونات. إن البكتيريا المختزلة للكبريتات-وهي الميكروبات التي صادفناها أول مرة في الفصل الأول-إنما هي لا هوائية صارمة جدا لا تستطيع النمو في حضور الأكسجين الأكسجين لا يقتلها. وهي تختزل الكبريتات إلى الكبريتيد بينما تؤكسد المادة العضوية إلى حامض الخليك وثاني أكسيد الكربون، وعلى ذلك تولد رائحة كريهة. ولما كان الكبريتيد يتفاعل بسرعة مع الأكسجين فان البكتيريا تزيل الأكسجين من أماكن معيشتها. وهذه الخاصية هي السبب في العديد من المتاعب الاقتصادية العجيبة التي تسببها هذه البكتيريا كما أنها أيضا سبب المنافع القليلة التي تأتى بها، كما سنرى في الفصلين السادس والسابع.

دعنا نتوقف هنا برهة ونتناول البكتريا المختزلة للكبريتات في شيء من التفصيل لأن ذكرها سيأتي كثيرا في هذا الكتاب. وهي توضح بجلاء كيف أن التقسيمات التي بحثناها تداخل بعضها مع البعض. أن البكتيريا المختزلة للكبريتات لا هوائية صارمة كما ذكرت لأنها «تتنفس الكبريتات بدلا من الأكسجين، ولكنها في نطاق هذا التحديد تملك ممثلين عنها في عديد من

الأقسام التي بحثناها. وأحد المجموعات الرئيسة وتسمى ديسلفوتوما كيولم Desulfotomaculum تنتج جراثيم وآخر (وهي ديسلفوفبريو Desulfovibrio) ليست لها جراثيم. واحد الأنواع من المجموعة الأولى محب للحرارة وبعض أنواع المجموعة الثانية محب للملوحة. ويوجد ممثلون لهذه المجموعات في بيئات تتفاوت بين أمواه القطب الجنوبي التي تختلط فيها العذوبة بالملوحة والشديدة البرودة من ناحية والينابيع الارتوازية الحارة من ناحية أخرى. كذلك وجدت أنماط هذه الميكروبات التي تتحمل الضغط في رواسب المحيط الهادي العميق. ويعد اختزال البكتريا للكبريتات من أشيع العمليات البيولوجية على الأرض، وان كانت تحدث غالبا في أعماق البحار والتربة والمياه الملوثة نظرا لتطبيقها اللاهوائية.

واختزال الكربونات أيضا عملية لا هوائية إلى حد فائق. وغاز الميثان (ك يد4CH4) هو غاز المستنقعات الذي تتصاعد فقاعاته عندما تحرك الأوحال الملوثة في قاع بركة سكنة، ويتولد هذا الغاز بفعل البكتيريا (وتسمى إحدى مجموعاتها ميثانوبكتيريوم Methanobacterium). ويكون بعض هذه الكائنات غاز الميثان خلال تفاعلات التخمر من مركبات الكربون الأخرى، ولكن بعضها الآخر في الواقع يزاوج أكسدة مثل هذه المركبات باختزال الكربونات إلى الميثان. وتنتشر بكتيريا الميثان على نطاق واسع جدا مثل البكتريا المختزلة للكبريتات، بل هي اشد من هذه حساسية للأكسجين (وهي تجد بيئة لا هوائية دافئة في معدات الحيوانات المجرة). ونادرا ما أمكن زرعها في المختبر في غياب البكتريا الأخرى التي تأخذ بيدها. ولا ينبغي الخلط بينها وبين البكتريا المؤكسدة للميثان وقد سبق ذكرها من قبل بين الميكروبات ذاتية التغذية الكيماوية وهى تلك البكتريا التي تحتاج إلى الهواء، وتزاوج أكسدة الميثان-في الهواء-بتثبيت ثاني أكسيد الكربون والنمو.

إن أساليب التقسيم التي استخدمناها حق الآن في حديثنا عن الميكروبات مثل تقسيمها إلى هوائية ولا هوائية محبة للحرارة ومحبة للبرودة وذاتية التغذية وعضوية التغذية. هذه الأساليب أنفع غالبا للميكروبيولوجيين-كما سبق إن ذكرت-من التقسيم البيولوجي إلى طحالب وفطريات وبكتريا وهلم جرا. ويصدق هذا بصفة خاصة عندما نناقش أثر الميكروبات على الجنس البشري-كما سنشرع حالا-ذلك بان في مقدور الإنسان أن يذكر في الغالب

أشياء نافعة عن الميكربيولوجيا لبيئة ما دون معرفة تفصيل، وإن كان الإنسان يود من الناحية المثالية إن يعرف بدقة كل أنواع الميكروبات في مثل هذه البيئة. ولنضرب مثلا بسيطا: فلو سادت البكتريا المختزلة للكبريتات في بيئة معينة لأمكن التنبؤ إلى حد معقول بتتابع التغيرات في الكيمياء والميكربيولوجيا في تلك البيئة بغض النظر عن الجنس أو النوع الذي تنتمي إليه هذه البكتريا. وإنما تصبح المعرفة التفصيلية بالأجناس ولأنواع هامة عندما يكون على الإنسان إن يختار بين أساليب متعارضة مثلا. وقد يبدو لأول وهلة أن أنواع التقسيمات التي يستخدمها الميكربيولوجيون مشوشة وان كنت قد حاولت أن أبين عدم اختلافها في الأساس عن تقسيمات الحيوانات مثلا إلى آكلة الأعشاب مقابل مملة اللحوم أو حيوانات المناطق الحارة مقابل حيوانات المناطق المعتدلة. إلا أنني أتعهد بتذكير القارئ بتفصيلات هذا الباب عندما ترد في أمكن أخرى من هذا الكتاب. كما أنني سوف أختم هذا الفصل باستنباط خلاصة هامة عن سلوك الميكروبات.

إن التنوع الكيماوي الحاد للميكروبات هو ما دعانا إلى المناقشة السابقة وهو الذي يجعل لهذه التقسيمات المختلفة للميكروبات تلك الأهمية البالغة. وقد رأينا كيف أن الميكروبات تستطيع استخدام تفاعلات كيماوية عجيبة تماما في سبيل النمو والتكاثر، وقد ناقشنا-بصفة رئيسية حتى الآن-التفاعلات التي تتعلق أساسا بالمواد المعدنية أو غير العضوية كالكبريت والحديد. وقد وجهنا اهتمامنا كلية نحو العناصر الغذائية الرئيسة أي المواد التي تزود الكائن بالطاقة، ولم نذكر شيئا عن تثبيت النتروجين مثلا وهي عمالية أساسية في الاقتصاد البيولوجي لهذا الكوكب، كما بينا في الفصل الأول. ولسنا قادرين على مزيد من القول في مثل هذه العمليات هنا اللهم إلا الإشارة إلى الحقيقة التالية فبينما تحتاج الكائنات العليا-غير النبات-إلى النتروجين المثبت والأحماض الأمينية والفيتامينات والدهون ونحو ذلك في غذائها، فان الميكروبات تتراوح بين الكائنات التي تستطيع تخليق كل هذه المركبات من مصادر معدنية والكائنات المتناهية في الدقة حتى ليعجب المرء كيف أنها تعيش على الإطلاق. فالبكتيريا المسماة ميكوبكتيريوم ليبري Mycobacterium leprae وهي التي تسبب مرض الجذام لا يمكن حتى الآن زراعتها بمعزل عن الأنسجة الحية، ويحتاج الكثير من

الميكروبات المسببة للأمراض إلى محاليل غذائية شديدة التعقيد في تركيبها، إذا أردنا زرعها في المختبر. ويمكن أن نقول عن أي مادة غذائية مهما كانت ثانوية أن هناك من الميكروبات كائنات في حاجة إليها، وأخرى تستغني عنها[20].

والاستثناءات الوحيدة فيما يبدو هي فيتامين ج (حامض الاسكوربيك) والفيتامينات التي تذوب في مذيبات الدهون، وهي التي لا تحتاج إليها فيما نعلم أية بكتيريا معروفة أو فطريات أو طحالب. (والموقف بالنسبة للبروتوزوا غير مؤكد فالبعض منها قد يحتاج إلى ستيرويدات steroides وهي مشابهة للفيتامينات الذائبة في الدهون، وبعض الميكوبلازمات Mycoplasmas تحتاج إليها بالتأكيد) تقع الفيروسات-بالطبع-خارج نطاق هذه المناقشة لأنها-على نحو ما-لا تحتاج إلى أية تغذية على الإطلاق.

إن المواد الغذائية الأساسية للحيوانات هي المواد الكربوهيدراتية والروتينات والدهون، ولكنها هذه الأحياء لا تستطيع الإفادة بسهولة من مواد عضوية كثيرة تشبه المواد المذكورة في تركيبها. فالسيليولوز في النباتات وألياف الخشب والكيتين في الأصداف القشرية وكيراتين الشعر والمواد المصنعة كالجلد والورق ونحوها، كلها لا تؤكل أو يلفظها الجسم غير مهضومة (اللهم إلا إذا كان الحيوان يحمل في أحشائه ميكروبات غير ضارة تهضمها كما سنرى في الفصل الخاص).. والواقع إن أنواع المواد العضوية المناسبة لغذاء الحيوان محدودة نوعا ما. ولا يصدق هذا على الميكروبات. فكثير من الفطريات تتغذى على السيليولوز مادة اللجنين في الخشب وتحلل الأدهنة والجلد والورق. وهناك بكتيريا تحلل السيليولوز وبكتيريا أو أنواع من الخميرة تدخل في أيضها الشموع والايدروكربونات مثل البترول والكيروسين وشحم البترول. وبعض البكتيريا تهاجم-ببطء-الإسفلت والفحم والمواد المستعملة في بناء الطرق. وقد تستخدم بعض البكتريا غازات الأيدروجين والميثان. وحتى البوليثين-الذي لم يكن موجودا قبل هذا القرن-تهاجمه بعض ميكروبات التربة. ومما يدعو للعجب كذلك أن هناك كائنات تهاجم السموم القوية. فالفينول phenol مثلا مطهر قوي وهناك مع ذلك سلالات من البكتيريا تنمو بسهولة عليه. وهناك بكتريا أخرى قادرة على تكسير المضادات الحيوية والنمو عليها ويوجد عفن يستطيع النمو على السيانور كمصدر أساسي

للكربون، وربما كانت مواد السيانور اعم السموم للأحياء على الأرض. وقد سببت مادة الفلورو أسيتاميد fluoroacetamide نفوق الماشية في عام 1963 عندما تلوث بها مصادفة حقل في بلدة سماردن smarden من مقاطعة كنت Kant. وهذه المادة سم قوي وتستخدم أحيانا كمبيد حشري. ومنذ ذلك الحين تم الحصول على ميكروبات من التربة تحلل هذه المادة وتنمو في الواقع عليها. واغلب هذه الميكروبات تتحمل نسبا قليلة فقط من تركيز المواد السامة، فهي إذا امتصت كمية ضخمة مثلا من الفينول أو السيانور فأنها عندئذ تموت أيضا. ولكنها إن لم تمتص قدرا كبيرا منها فأنها تحول هذه المواد إلى نفايات غير ضارة. ولهذه الخاصية أهمية قصوى في التخلص من بعض النفايات الصناعية.

وبعد أن ناقشنا ذلك التنوع الكبير في انشط الميكروبات فانه لما يثير دهشة الباحث أن يصادف مواد عضوية تأبى أن تتحلل بفعل كائن أو آخر. ويبدو الآن إن مواد البلاستيك المفلورة flourinated وبعض المنظفات بالإضافة إلى الكربون النقي على هيئة الجرافيت أو الماس وعدد قليل من مواد أخرى-يبدو أنها منيعة حقا، وسنرى في الفصل السابع كيف إن مواد كالحديد والصلب والخرسانة والحجر أو المطاط قد تتحلل أو تتحلل نتيجة لنشاط البكتيريا بيد أن هذه الكائنات لا تتغذى عليها بالضرورة.

وفي الختام-إن كنا قد أشرنا إلى البكتريا التي تستهلك السموم كالفينول وتزيل سميتها-فعلينا أن نشير مرة أخرى إلى قدرة البكتيريا عامة على اكتساب المقاومة للمواد السامة. وقد ذكرنا في بداية هذا الفصل كيف استطاع الإنسان تدريب البكتريا على مقاومة البنسلين، وفي هذا المثال بيان كاف لجلاء الموضوع بصفة عامة. هناك بكتيريا تستطيع النمو في وجود البنسلين لان خلاياها تحتوي على إنزيم enzyme يسمى بنسلينيز penicillinase يمكنها من أتلاف البنسلين. ولم تزل مثل هذه البكتيريا مصدرا للمتاعب في المستشفيات. أما البكتيريا المدربة على مقاومة البنسلين فهي-على كل حال-لا تنتج البنسلينيز وإنما هي تكيف أنشطتها الأيضية بحيث تتفادى إتلاف البنسلين لها. وفي الإمكان أن يحصل الإنسان-بعمليات مشابهة من التكيف-على ميكروبات تكيفت لعقاقير السلفا ومطهرات الفلافين (مثل الأكريفلافين) والمبيدات الحيوية المختلفة. إن كبريتات النحاس

مادة سامة قوية للأحياء عامة، ومع ذلك فهناك سلالة من العفن تنمو في محلول من كبريتات النحاس نسبته 20 في المائة مذابة في حامض الكبريتيك المخفف شريطة وجود قليل من السكر. وقد أجريت هذه الدراسة في جامعة روتجرز في ولاية نيوجرسي بالولايات المتحدة الأمريكية، وثبت أن العفن استطاع أن يستحدث أسلوبا يحفظ من خلاله النحاس خارج جدران الخلية.

وفي مقدوري أن أستمر طويلا في إحصاء الأنشطة الكيماوية المختلفة للميكروبات والبيئات السامة التي تتحملها. وأعتقد-فضلا عما في مثل هذه القائمة من جهد-إن من اللازم للإنسان أن يكون على بينة تفصيلية من الكيمياء الحيوية في الكائنات الحية العادية عديدة الخلايا، حتى يدرك مدى العجب في هذا التنوع من سلوك الميكروبات. ومع ذلك فكل الكائنات الحية الأرضية تتشابه في أنشطتها الكيمو حيوية. فالأساليب الكيماوية التي تبني بها وتهدم البروتينات والمواد الكربوهيدراتية والدهون، وطرائق التحكم في هذه العمليات، وحتى الأساليب التي تستخدم بها الطاقة أو تختزنها، كلها متشابهة في أغلب تفصيلاتها الكيماوية. ولا تشذ عن ذلك الميكروبات (تاركين الفيروسات جانبا كالعادة حيث يكون لها عائل يتولى بدلا منها هذه الأمور). أن السمات المميزة للميكروبات هي قدرتها على استخدام وسائل عبقرية غريبة للحصول على الطاقة التي تدفع بها نشاط أيض تقليدي، وكذلك قدرتها على الانضباط من اجل دفع هذا النشاط الأيضي في ظروف قد تكون قاتلة للكائنات العليا. والميكروبات موجودة في شتى إرجاء هذا الكوكب كله، وهي تستطيع النمو والقيام بالتحولات الكيماوية في أمكن تبدو بالمقاييس الآدمية غير محتملة على الإطلاق. ولهذا السبب كان لهذه الأحياء تأثير هائل لا يدرك في الغالب ليس فقط فيما يختص بالتوازن في الطبيعة وإنما أيضا فيما يختص بوجود الجنس البشري والاقتصاد الإنساني. أن الميكربيولوجيا هي دراسة الميكروبات كعلم بحت، أما دراسة تأثيرها على الإنسان والكائنات العليا-وهو ما يتناوله هذا الكتاب-فتسمى «الميكربيولوجيا الاقتصادية» وللميكروبيولوجيا الاقتصادية جوانب واضحة في علوم الصحة العامة والميكروبيولوجيا الصناعية والبكتريولوجيا الزراعية وهلم جرا، بالرغم من أنها ليست علما للدراسة في المدارس

والجامعات. وهي في الحقيقة مثل طيب على تهجين العلم البحت بالتكنولوجيا، ذلك الذي تتخلف فيه بريطانيا للأسف. ويبدو أننا-معشر الإنجليز-جيدون في العلم البحت ولسنا في غاية السوء في التكنولوجيا التطبيقية كلها، ولكننا أسوأ ما يكون في الجمع بينهما.

3 الميكروبات في المجتمع

أنهينا الفصل السابق بملاحظة كئيبة ؛ وهي تعليقنا على القصور الظاهري للبريطانيين في رتق الفجوة بين العلم البحت وتطبيقاته. وقد تصدق هذه الملاحظة بصفة عامة-شانها شان الأحكام العامة على المجتمعات والسلوك الاجتماعي-ولكنها كثيرا ما تكون خاطئة في حالات خاصة. ويبدو الاستثناء الصارخ لها في أهم ألوان التكنولوجيا وأكثرها فردية، في الطب. فالطب ليس علما، وان كنا نطلق على ممارسيه اسم الدكاترة doctors. فهو مثل نموذجي على التكنولوجيا، أي تطبيق فروع مختلفة من العلم على جانب واحد من الحالات الإنسانية. وهو من الناحية التاريخية من أدعى الأمثلة إلى الإعجاب بالعلم وتطبيقاته التي تتقدم معا يدا بيد. وهو ما زال-حتى اليوم-فريدا بين أنماط التكنولوجيا من حيث أن اكتشافا أساسيا في مختبرات الكيمياء الحيوية أو الطبيعية مثلا قد يجد تطبيقا في مزاولة الطب في غضون أسابيع بدلا من سنين.

إن معرفة السبب يسيرة. فنحن جميعا نكره حالة المرض سواء كنا أطباء أم علماء أم موظفين في الديوان أم من عامة الناس. ونحن ندعم-بحماس

إيجابي-بحثا يهدف إلى علاج هذه الحالة المرضية أو تخفيفها، بيد أننا قد نتحفظ عندما يتعلق الأمر بدراسة النابضات الكونية [1] أو بيئة البلانكتون.[2] ويحق للميكروبيولوجيين أن يشعروا بالامتنان من أجل أحاطتهم بالأهمية كما يتجلى ذلك في السخاء النسبي المخصص للبحث الطبي، فقد تقدمت الميكروبيولوجيا تقدما حثيثا جدا في نصف القرن الأخير وبخاصة في جوانبها الطبية، ذلك بان الميكروبات تسبب أغلب الأمراض وطبيعي أن انعدام التوازن هذا قد ترك الميكروبيولوجيا غير الطبية في حالة مهملة إلى حد ما، كما يتضح في الفصول اللاحقة من هذا الكتاب. وإذا كان الميكروبيولوجيون الخُلّص قد عابوا الانحصار-أحيانا-عند زملائهم المشتغلين بالنواحي الطبية، فإن هذه الحقيقة لا ينبغي أن تعمي أبصارنا عن الإسهام الضخم الذي قدمه للعلم-بوجه عام-«القدامى» من علماء «الأمراض والبكتريولوجيا».

ولسنا نأمل في هذا الفصل أن نلم بالميكروبيولوجيا الطبية ولو بصورة سطحية. أن الميكروبات تسبب المرض في الإنسان والحيوان والنبات، وعلى القارئ أن يبحث في غير هذا الكتاب عن قائمة الميكروبات التي تسبب أنواع الأمراض ؛ أي عليه أن يبحث في المراجع المتخصصة في الطب والطب البيطري والزراعة. وإنما سنذكر هنا حالات أمراض معينة والميكروبات التي تسببها. وسيعنينا في هذا الكتاب أن نوجه جهودنا نحو السبب في حدوث أمراض الميكروبات أصلا وكيفية انتشارها وتوقيها أو علاجها.

إن المرض لون من التطفل ؛ ولكنه غير فعال. فالميكروبات التي تعيش على جلد الإنسان وفي فمه وأمعائه إنما هي طفيليات، وهي تستغل عائلها في تزويدها بالغذاء والدفء. وهي في المقابل تقدم شيئا تافها أولا تقدم شيئا على الإطلاق. وبعض البكتريا في الأمعاء تشارك في تزويد الإنسان بفيتامينات ب كما سنرى في الفصل الخامس وهي بذلك ترقى إلى حالة التكافل (تبادل المنفعة) وبالرغم من أن البكتريا التي تعيش على الجلد وفي الفم والأمعاء يمكن أن تسبب طفح الجلد أو المتاعب-إذا كانت أعداها غفيرة بصورة غير عادية-فإن هذه الميكروبات الطفيلية بصفة عامة لا تسبب لعائلها أي ضرر على الإطلاق. بل يحتمل أن يكون لها نفع ما عندما

تستهلك المواد التي قد تؤازر نمو ميكروبات أفتك. وتتكيف هذه الميكروبات الطفيلية بكفاءة مع عائلها فهي تعيش في عالمها الضئيل بسلام دون أن تؤذي أحدا، وتلك حالة الميكروبات العادية غير الضارة والتي تصاحب كل الكائنات الحية. ويحدث المرض عندما يشق الميكروب سبيله في عائل أو في جزء منه لا يكون تكيفه معه تاما، ولكنه مع ذلك يستطيع أن ينمو فيه ويترعرع. وإذا حدث هذا استنفرت عمليات الدفاع الحيوية عند العائل، فإذا هي أنهكت أو فشلت مرض العائل وقد يموت. ويبدو الآن واضحا أن الطفيلي الذي يقتل عائلة طفيلي غير كفء لذلك. ومن الوجهة التطورية عندما يموت العائل فان هذا الموت يقضي على العالم الضئيل الخاص بالطفيلي نفسه، وتتعرض كل الطفيليات التي تعتمد على هذا العالم للفناء أيضا. وعلى ذلك نجد أن الطفيليات التي تم تكيفها على الصورة المثلى تسبب تلفا قليلا أولا تسبب تلفا كما ذكرنا من قبل، أما الطفيليات التي لم تتكيف على صورة مناسبة وقل اكتراثها فهي خطيرة وقد تكون أحيانا قاتلة.

وإذا كانت الأمراض ناجمة عن الميكروبات الطفيلية التي تنمو في عائل أو في جزء منه بل لا يناسبها فمن الممكن أن توجد-على.صورة غير ضارة في مكان آخر من هذا العائل أو في عائل بديل. ويصدق هذا في حالات كثيرة. فالميكروب المسمى بارتوديلا بيرتوسيس Bartodella Pertusis والذي يسبب السعال الديكي يمكن عزله من الحلق عند أغلب الأصحاء، وكذلك الشأن بالنسبة لأنواع ستربتوكوكس Streptococcus التي تسبب التهابات الحلق واللوزتين. ويظهر أنها عادة تعيش في حالة من حالات التوازن مع أساليب العائل الدفاعية، ويبدو أن الإبقاء على هذا التوازن لا يحتاج إلى جهد. ويكفي العائل نفسه شرها. وإنما يدهم المرض عندما تختلف أحوال العائل فقط. ومن المألوف أن يصاب الأطفال بهذا المرض في بواكير الحياة ثم يصبحوا بعد ذلك محصنين أو يكون تعرضهم للإصابة بالمرض هينا جدا بحيث تمر العدوى غير مشهودة. ذلك بان الجسم-عند أول إصابة بالعدوى-كان قد هيأ وسائل الدفاع ضدها بحيث يفيء إلى الدفاع بقية حياته. أما عن ماهية تلك الوسائل الدفاعية فسوف نناقشها فيما بعد.

وكذلك يمكن عزل نويموكوكس Pneumococcus-التي تسبب الالتهاب

الرئوي الكلاسيكي-من المجاري التنفسية للأصحاء، كما يمكن أحيانا عزل ميكوبكتريوم تيوبركيولوسيز Mycobacterium tuberculosi وهي التي تسبب السل. وعادة ما يعيش على الجلد ميكروب ضئيل كروي أبيض اسمه ميكروككس بيوجينز-ألبس Micrococcus pyogenes Var.albus. وهي بكتيريا غير ضارة على الإطلاق. وكثيرا ما نجد بينها-مع ذلك-بعض أقاربها الصفراء Micrococcus pyogenes Var.aureus التي يمكن أن تسبب الحبوب والدمامل وحالات جلدية أشد. ولأمر ما ليس هذا الأمر مفهوما. ويحتمل أن يرجع إلى تغير في العائل لا الميكروب الذي يسبب العدوى ؛ فتتعرض بصيلات الشعر والغدد العرقية للعدوى بهذه السلالات الصفراء الصديدية وتحدث جرائرها من الطفح والالتهاب، ثم تنز في النهاية كتلة من الصديد والنفاية ؛ ذلك بان هذا النوع من التهاب الجلد يتفشى أثناء المراهقة.

ونجد في الأمعاء بيئة متوازنة تماما من الميكروبات وذلك على الرغم من الوسائل الصحية الحديثة في تداول الطعام ونظافة العادات العامة، ولا نشك إلا قليلا في أن هذه البكتريا تنتشر حولنا من فرد إلى فرد بين العائلات والمجتمعات. وعلى ذلك تنشئ أجسامنا مناعة ضد الميكروبات المعوية المحلية، ونحيا جميعا في توافق نسبي. أما السفر المفاجئ إلى بلد آخر، والتهاون البسيط في الطعام والشراب خلال الأيام القليلة الأولى فقد يؤدي إلى تغيير في الميكروبات المعوية أحيانا ما يكون ضارا. وكم من الطيبات الشهية عافها المسافرون بعد وجبة واحدة وهم يجهلون أن بكتريا الشيريشيا كولاي [3] Escherichia Coli الموجودة في باريس وروما والقاهرة وبومباي ليست مطابقة من الناحية المناعية لايشيريشيا كولاي الموجودة في حي فينشلي في شمال لندن مثلا. وهناك بالطبع بكتريا معوية مزعجة في البلاد الخارجية ؛ تلك التي تسبب الزحار [4] والتيفود والباراتيفود وحتى الكوليرا، ولكن يكاد يكون من المؤكد أن الأمراض المعوية التي يعاني منها المسافرون لا تسببها ميكروبات مرضية ضارية، فهي على الأغلب ترجع إلى ميكروبات عادية غير ضارة في البيئة المحلية، وإنما وجدت فجأة عائلا لا تصلح مناعته ضدها. ولو جاز لي أن انحرف لحظة إلى مجال الادعاء-وعلي أن أؤكد للقارئ أن هذا من قبل الادعاء، فليست لدي مؤهلات طبية-لقلت أن هناك روتينا بسيطا للمسافرين يقلل إلى حد كبير من احتمال

أصابتهم بمثل هذا النوع من العدوى المعوية الغامضة. فليست هناك فرصة حقيقية لتفادي هذه الميكروبات، ولذلك علينا ألا نسمح لها بدخول أجوافنا إلا بجرعات صغيرة قدر الإمكان، متجنبين أثناء ذلك الاضطرابات المعوية غير الميكروبية، حتى نبض مناعة عادية بيسر. ويعني هذا من الناحية العملية أن على الإنسان أن يتفادى الإفراط في الطعام خلال الأيام القليلة الأولى. فلتشرب المياه المحلية مثلا ولكن بكميات بسيطة في البداية، وآخر الأطعمة التي تكون حديثة الطهي واغسل الفاكهة وهكذا.. وتستطيع بعد بضعة أيام أن تتناول ما شئت من الأطعمة المحلية الشهية دون نتائج اكثر خطورة مما تتوقعه في وطنك.

لقد انحرفنا جانبا عن بحثنا في المكان الذي تذهب إليه البكتريا المرضية عندما تكون غير ضارة. وقد علمنا أن بعضها يدور به الأصحاء الذين أصبحت لديهم مناعة وفي حالة مرض قاتل كالتيفود يمكن أن يكون حاملو العدوى من أصحاب المناعة بالغي الخطورة يؤذون المجتمع. وحالة «ماري التيفود» شهيرة في تاريخ الطب، وهذه كانت طاهية في نيويورك وقد كانت مصدرا لعدوى الكثرين من الأمريكيين في العشرينات، بينما كانت هي نفسها محصنة ضد التيفود، وقد أصرت على العدوة إلى مهنتها السابقة تحت أسماء مستعارة مسببة أضرارا فادحة، حين رفضت الاعتراف بأنها مصدر المتاعب. وقد ظلت نحو ثلاث وعشرين سنة بعد اكتشافها حاملة للتيفود ثم منعت من عملها في النهاية. وفي الإمكان اليوم شفاء حاملي التيفود بالاستعانة بالمضادات الحيوية، ولكنها عملية طويلة الأمد ومرهقة لا يرحب بها قط حامل العدوى سيئ الطالع، إذ يحس نفسه معافى تماما.

إن الحيوانات-لا الإنسان-تكون في بعض الأحيان هي مستودعات المرض. فميكروب بروسيا أبورتس Brucella abortus-الذي يسبب الحمى المتموجة في الإنسان-يسبب مرض الماشية، وميكروب باستوريلا تولارينزي Pasturella tularense-وهو المسبب لمرض نادر ولكنه شديد الفتك يسمى تولاريميا-[5] متوطن في بعض القوارض (مثل السنجاب الأرضي في كاليفورنيا) وينتقل إلى الإنسان نتيجة عض القراد. كما أن مرض القدم والفم (الحمى القلاعية)-وهو عدوى فيروسية بين الماشية-قد يعدي الإنسان أحيانا. ومرض النوم-وهو مرض إفريقي يصيب الماشية-يسببه حيوان أولي طفيلي (بروتوزون)

يسمى تريبانوزوما Trypanosoma، وهو ينتقل إلى الإنسان بوساطة لدغ ذبابة تسي تسي Tse Tse، أما البلازموديوم وهو الحيوان الأولي (البروتوزون) الذي يسبب الملاريا-فقد أصبح من المعروف تماما اليوم أنه ينتقل من مريض إلى مريض بوساطة البعوض كما وجد حديثا أن البعوض ينقل كذلك أمراضا فيروسية وأنواعا من حمى الدنج. ويطلق مرض السالمونيللوزس Salmonellosis اسما عاما على العدوى المعوية التيفودية والتي يمكن أن تعدي الإنسان (والباراتيفود مرض من هذا النوع)، ومستودع العدوى هو الماشية والبط أحيانا، وينتقل المرض بوساطة لبن الماشية الملوث أو بيض البط. وأظن أن الاعتقاد الشائع بان بيض البط ينبغي استخدامه في الخبيز فقط إنما نشأ نتيجة حالات من أمراض شبيهة بالباراتيفود أمكن تتبع مصدرها منه. والواقع أن احتمال هذا الخطر ضئيل جدا.

ويمكن للقوارض-كالفئران صغيرها وكبيرها-أن تحمل الميكروبات التي تسبب النزلات المعدية المعوية وان تنقلها، كما أن الارتباط بين الفئران والطاعون الدملي (الذي يسببه ميكروب باستوريلا بستس Pasturella pestis) هو الآن مسألة تاريخية. وقد عانت لندن عام 1665 من الطاعون العظيم ونكب حينئذ أغلب سكانها بالموت الأسود وهو اسم الطاعون الدملي في العصور الوسطى. ويعتقد البعض أن أغنية الأطفال، ص[6] -Ring-a-Ring o roses-تنطوي على أسطورة من الطب الشعبي التي تزعم أن باقة من الأعشاب المعطرة والأزهار تحمي من إصابة الطاعون بطريقة ما إذ تغير من رائحة الموت والتحلل الكريهة. والواقع أن الفئران تحمل الطاعون فقط من مكان إلى آخر. أما براغيث الفئران فهي العوامل المعدية المباشرة، إذ تنقل المرض من القوارض المصابة بالعدوى إلى الإنسان. وما زال الطاعون الدملي حتى اليوم منتشرا في بعض مناطق آسيا، وتزداد خطورته في فيتنام،-أبان أعداد هذا الكتاب-[7] فقد تم اكتشاف اكثر من 2000 حالة في جنوب فيتنام خلال الشهور الستة الأولى من عام 1965. والحروب يصحبها الطاعون وقد مات بالطاعون 57000 إنسان عام 1947 في إحدى ولايات الهند أثناء الاضطرابات بعد الاستقلال.

وإذا كانت الحيوانات والحشرات وحاملو العدوى تمثل مستودعات العدوى في أحيان كثيرة، فان عددا من الأمراض الأخرى لا يمكن تفسيرها على

هذا النحو. ويبدو أن الأمراض التناسلية والأمراض الفيروسية كالبرد العادي وشلل الأطفال والأنفلونزا ونحوها ليس لها أصل واضح أو مستودع. ويجوز في هذه الحالات أن يظل عدد من الناس في المجتمعات العادية المصابين دائما بعدوى إكلينيكية [8] يمثلون مستودعات العدوى. وهناك من الأسباب ما يحمل على الاعتقاد بان مرض الزهري-وهو مرض تناسلي يسببه ميكروب متعرج أو لولبي-لم يكن موجودا في أوروبا حتى أحضره بحارة كولومبس من هيتي في أواخر القرن الخامس عشر. كما لم يكن هذا المرض موجودا بين سكان الجزر في البحر الجنوبي حتى زيارة السفينة التي كان يقودها الكابتن كوك Cook عام 1769. وتوشك طريقة انتقال هذا المرض أن تقتصر على الاتصال الجنسي. وقد توطن المرض سريعا في ذلك الجزء من العالم بعد أن أدخله الأوربيون إلى جزر البولونيز بكل تبعاته الانحلالية الرهيبة من الناحية الجسمية والعقلية التي تميز مراحله الأخيرة. وقد يظل البرد العادي (الزكام) أيضا منتشرا بوساطة أشخاص يصابون به خلال الصيف، ويمكن أن تتلاشى العدوى تماما في بيئات خاصة. فالأشخاص الذين ينفقون عاما أو عامين في محطات البحث في القطب الجنوبي غالبا ما تتوقف قابليتهم للإصابة بالبرد العادي (الزكام) خلال بضعة أسابيع على الرغم من المناخ، ولكن وصول سفينة تموين يمكن أن يثير دورة جديدة من نزلات البرد بين المجتمع كله. وقد أثبت سكان جزيرة تريستان داكونها [9] Tristan da Cunhaأن لديهم قابلية ملحوظة لنزلات البرد والاضطرابات الصدرية، وذلك بعد انتقالهم إلى بريطانيا عام 1961 بسب ازدياد نشاط البركان في منطقتهم. ولعل هذه القابلية كانت أحد الأسباب المنطقية لرغبتهم في العودة إلى جزيرتهم، مضافا إلى ذلك موسيقى البيتbeat music ، والضغوط في مجتمعنا.

إن مستودعات الميكروبات المعدية التي يهيئها أي مجتمع مزدحم بالسكان مخيفة حقا عندما يتناول الإنسان الأمراض الفيروسية. ويستطيع الإنسان أن يتعرف على فيروس الأنفلونزا مثلا بوساطة نوع تفاعل المناعة التي صنعتها أجسام الذين أصيبوا بها، وقد ظهر جليا خلال الثلاثين عاما الماضية أن الفيروسات التي تسبب أمراضا تنفسية تتراوح بين البرد البسيط والأنفلونزا ليست نوعا واحدا، وإنما هي أنواع عديدة مختلفة. بالإضافة

لذلك-عند دراسة هذه الفيروسات وجدت فيروسات أخرى كثيرة يبدو أنها لا تسببت أمراضا. والبرد العادي (الزكام) موضوع عزيز على قلوب الغالبية منا وبخاصة في الشتاء، ولذلك سأحاول الإشارة إلى التعقيد في المشكلة التي تتعلق بهذا الموضوع.

يستطيع الحلق أن يحوي عددا عظيما من الفيروسات التي تقع في ثلاث مجموعات. إذ تشيع الفيروسات الغُدية adenoviruses بصفة خاصة في اللوزتين ويمكن أن تسبب التهاب الحلق، وقد عرف منها في إحصاء عام 1965 [10] ثمانية وعشرون نوعا مختلفا. أما الفيروسات المخاطية myxoviruses فتوجد في المخاط الذي يغطي أغشية الأنف والحلق وهي الفيروسات التي يسهل التعرف عليها نسبيا في المختبر إذ أنها تسبب تلزق خلايا الدم، [11] ومن بينها فيروسات الأنفلونزا والحصبة، وكذلك الميكروبات التي تسبب أمراضا خفيفة شبيهة بالأنفلونزا. ثم أن هناك أنواعا لا حصر لها من فيروسات ضئيلة جدا تسمى الفيروسات [12] Picornaviruses ويدخل تحتها قسم الفيروسات الأنفية rhinoviruses، وتشمل بعض الفيروسات التي تسبب الرد العادي. وهناك لسوء الحظ ثلاثون نوعا من الفيروسات الأنفية[13] أما القسم الثاني من الفيروسات النووية فهو الفيروسات المعوية enteroviruses، وهي موجودة أيضا في الحلق ولكنها تتميز بوجودها في القناة الهضمية كذلك. وبعض هذه الفيروسات المعوية يسبب التهاب الحلق والنزلات الصدرية (كالأنواع الثلاثين المعروفة من فيروس كوكزاكي Coxsackie المسمى باسم بلدة كوكزاكي في الولايات المتحدة الأميركية). وأما فيروسات الأطفال المعوية (فيروسات إكو Echoviruses) [14]فهي تسبب العدوى التنفسية أو لا تسبب ضررا قط فيما يبدو. ولا بد أن يخلص الإنسان إلى نتيجة مؤداها أن هناك بين الفيروسات أنواعا عديدة هائلة يكون القليل منها مرضيا، ولكن أنواعا كثيرة مختلفة يمكن أن تسبب أمراضا متشابهة على خلاف الميكروبات الأكبر حيث يسبب كل نوع واحد منها مرضا واحدا. وتلك نتيجة تبعث على الاكتئاب من ناحية ما يصنعه الجسم من تفاعلات المناعة. فإذا تعرض الإنسان للإصابة بثلاثين نوعا من البرد-ونحن نعلم أن المناعة ضد البرد لا تلبث طويلا-فأي أمل هناك في مكافحة هذا الأذى التافه ؟ ولا نشك في أننا سوف نجد ردا على هذا السؤال مستقبلا. على

أن السبب في بطء التقدم في هذا المضمار يجب أن يكون الآن واضحا إلى حد ما..

لماذا تنمو الميكروبات في الحلق أو الأمعاء أو حيث نجدها ؟ أننا-بصفة عامة لا نعرف الإجابة عل هذا السؤال، إلا في حالة أو حالتين. لقد أثرنا من قبل إلى بكتيريا بروسيلا أبورتس Brucella abortus التي تسبب الحمى المتموجة في الإنسان، إلا أن هذا الميكروب أكثر شيوعا، كمسبب للإجهاض المعدي في الماشية وهو مرض تجهض فيه البقرة الحامل عجلا ميتا. وعندما يحدث ذلك يوشك وجود ميكروبات البروسيلا أن يقتصر على المشيمة، وهي العضو الذي يصل عجل الجنين برحم أمه. أما بقية أعضاء البقرة والجنين فتكون خالية من الميكروب نسبيا. وقد اكتشف الأستاذ هاري سميث Harry smith ومعاونوه السبب في ذلك منذ سنين. فالبروسيلا في العادة تحتاج إلى عدد من الفيتامينات والعناصر المعدنية الضئيلة حتى تنمو بصورة صحيحة. ومن بين هذه المواد مادة شبيهة بالسكر تسمى إريثريتول erythritol، وهي نادرة نسبيا في الأنسجة الحيوانية ولكنها متوفرة في المشيمة لأسباب لا نحيط بها خبرا. ولذلك تزدهر العدوى هناك، لا في أمكن أخرى. ولما كانت المشيمة هي «حبل الحياة» للجنين فانه يموت ثم يقدمه رحم الأم في الحال.

وتفسير دور البروسيلا في الإجهاض المعدي مثل واضح كل الوضوح لما يسمى بنوعية العدوى بمعنى أن الأمراض الميكروبية في الحقيقة غالبا ما تكون موضعية. وقد استطاع الأستاذ سميث Smith ومعاونوه أن يستحدثوا مرض البروسيلا عاما منتشرا في الجسم وذلك بحقن مادة الإيريثروتول صناعيا في حيوانات التجارب على سبيل المثال. وتنمو الميكروبات في موضع خاص، وربما تحدث المرض، لأن عنصرا غذائيا تحتاج إليه موجود هناك فقط أو لأن شيئا تكرهه غير موجود. والمثل الأخر على الحالة الأولى هو كورينيكتيريوم رينال Corynebacterium renale التي تسبب مرض الكلى في الماشية. تنمو هذه البكتريا في الكلى فقط لأن لها شراهة خاصة لمادة اليولينا التي تركز أساسا في الكلى باعتبار هذه المادة إحدى مكونات البول. أما المثل على الحالة الثانية، حيث تزدهر الميكروبات لأن شيئا تكرهه غير موجود فهو الغنغرينا الغازية وهي مرض تعفني يصيب الجروح التي يمكن

أن تحدث بعد إصابة خطيرة. والميكروب المسئول ، وهو كلوستريديوم ولشياي Chlostridium welchii شائع نوعا في المياه الملوثة والتربة، ولكنه في الأحوال العادية غير ضار لأنه لا هوائي أي أنه لا ينمو في وجود الهواء (انظر الفصل الثاني) إلا أن هذا الميكروب ينتج جراثيم Spores تظل حية في الهواء. والأنسجة المجروحة يقل نصيبها من الدم-على الأقل-بسبب تلف الأوعية الدموية الصغيرة ويسبب ما يؤدي اليه الالتهاب والتورم من انقباضها بحيث يقل سريان الدم فيها. وقد يقل زاد الأكسجين الذي يحمله الدم إلى الأنسجة المجروحة نتيجة لذلك ؛ فإذا كان الجرح بالغا جاز أن تصير الأحوال في الأنسجة التالفة لا هوائية تماما. ولو دخلت الآن جراثيم كلوستريديوم ولشياي مصادفة من التلوث الخارجي لوجدت الحال أثيرا لديها، وأخذت تنمو، وهي تنتج مادة سامة شديدة السمية (توكسين) للأنسجة تزيد سريعا في مساحة التلف. وقد أمكن استخدام هذا المبدأ بطريقة عجيبة في علاج السرطان، أي قدرة الميكروبات اللاهوائية غير الضارة في الأحوال العادية على النمو في الأنسجة التي ينقص نصيبها من الأكسجين. والأنسجة السرطانية-طبقا لتقرير نشر في عام 1966- يمكن أن ينقص الأكسجين فيها لأنها بسرعة نسبيا، ويمكن استحداث انكماش في بعض الأنسجة السرطانية وذلك خلال إجراء العدوى المتعمدة لها ببكتيريا كلوستريديوم بيوتيريكم Clostridium butyricum وهي غير ضارة عادة. وهذا «الشفاء» في الوقت الحاضر غير تام وغير دائم.

ويمكن القول عن الميكروب في الغنغرينا إنه ممرض بغير قصد. وإذا كان الناتج من نمو الميكروبات ساما لعائلها فذاك من نكد طالعه ولكنه لا يخص الميكروبات ؛ إذ هي في العادة غير طفيلية ولا يعنيها أن تجد عائلا إن صح التعبير. كما أن مرض الكزاز (التيتانوس) له أصل مشابه وسببه كلوستريديوم تيتاناي Clastridium tetani ؛ فهو ميكروب في التربة ينمو في الأنسجة المجروحة لأنها تصبح لا هوائية ثم ينتج الميكروب بالصدفة في هذه الأنسجة سما قويا يسبب المرض المذكور ويموت المريض في هذه الحالة دائما عندما تتكشف أعراض الكزاز [15]. وهذا هو السبب في ضرورة العلاج الوقائي فورا ضد هذا المرض لأي مصاب بجرح عميق في الريف أو المزارع إلا إذا كان قد سبق تحصينه بكفاءة كما يحدث لأغلب

أطفال الريف هذه الأيام. [16]

ويمثل مرض التسمم البوتيوليني botulism غاية المدى من حالات هذا النوع. [17] والميكروب هنا لا هوائي ويسمى كلوستريديوم بوتيولينم Clostridium botulinum، وهو لا ينمو في العائل على الإطلاق، وإنما ينمو في معلبات اللحم والسمك الملوثة أو في اللحوم والأسماك المحفوظة. وهو حين نموه ينتج توكسينا يعد من أقوى السموم المعروفة للإنسان، ويقتل سريعا من يتناول طعاما يحتويه ولا ينمو الميكروب نفسه أبدا عندما يتناوله الإنسان. ومن حسن الطالع أن الوسائل الحديثة في حفظ الطعام قد تقدمت بحيث أصبح مرض البوتيوليزم نادرا للغاية، ولولا ذلك لكان علينا أن نتحصن ضد توكسين البوتيولينم.

لقد تحدثنا في إشارات عابرة عن أساليب الجسم في دفاعه ضد الميكروبات والمناعة ضد العدوى. فما معنى هذا ؟ إن الإجابة معقدة نوعا، والواقع أن للجسم عل الأقل ثلاثة خطوط للدفاع. الأول إنزيم [18] يسمى الليزوزيم (= إنزيم التحلل) ويوجد في اللعاب والدموع ومخاط الأنف، وله خاصية إذابة كثير من البكتريا. أما خط الدفاع الثاني في الجسم فيعتمد على احتواء الدم على كريات دموية بيضاء معينة أشبه ما تكون بحيوانات أولية (بروتوزوا) مستأنسة تعيش في تيار الدم. ويسمى بعضها لاقمات الخلاياphagocytes وهي في الحقيقة تكل وتهضم أية ميكروبات خارجية تنفذ إلى تيار الدم. فإذا حدث جرح بسيط أدت الأنسجة التالية إلى تجمع هذه اللاقمات قريبا من مكان التلف وبذلك تصبح مستعدة لصد العدوى. , لدى الجسم أيضا جهاز من الخلايا مقره الكبد يسمى الجهاز الطلائي الشبكي reticnole-endothelial system يستطيع الجسم أن يولد منه احتياطيا من اللاقمات عند الحاجة.

كل هذا حسن جدا، ولكن العدوى البكتيرية في الدم مثلا إذا هي أصبحت راسخة نتجت عنها البلايين بعد البلايين من الميكروبات، وهي أعداد تفوق طاقة اللاقمات بكثير. فكيف يتغلب الجسم على العدوى في مثل تلك الأحوال ؟ والإجابة الوجيزة هي بالطبع أنه لا يستطيع ذلك على الأقل في البداية، فالنمو الميكروبي المكثف يحدث فقط إذا انهارت دفاعات الجسم الأولية، وعندئذ يصبح الإنسان مريضا جدا. ولو كانت البكتريا

تنتج توكسينات شديدة الأذى، فقد يموت الإنسان. أما إذا شفي كان السبب في شفائه أن خط الدفاع الثالث كان ناجحا، ذلك بان الجسم كان قد صنع بروتينات معينة تسمى الأجسام المضادة abtibodies، تسري في الدم وتتفاعل مع الميكروبات الغازية وتجعلها تتجمع على هيئة كتل. وتصبح الميكروبات في هذه الحالة أقل ضررا وأيسر على اللاقمات في التهامها. ويصبح مصل الدم حينئذ منيعا ضد هذه الميكروبات بالذات. ويمكن أن تدوم هذه المناعة أحيانا لبضعه شهور فقط أو لسنوات عديدة أحيانا أخرى بل قد تبقى طوال العمر. ويبدو أن نزلات البرد والأنفلونزا مثلا تولد مناعات قصيرة المدى نوعا بينما تسبب الحصبة والنكاف ونحوها من أمراض الطفولة مناعة طول العمر. والمناعة نوعية جدا ؟ أي أن المناعة ضد فيروس مثل فيروس النكاف لا تعطي مناعة قط ضد فيروس شلل الأطفال، وان كانت الفيروسات المخاطية هي سبب المرضين كليهما. إن المناعة المختلطة بين جدري البقر والجدري تعد من الاستثناءات القليلة لذلك. فقد كانت طريقة التطعيم في الأصل هي أعداء الناس بفيروس جدري البقر-الذي لا ضرر منه في الغالب. والذي يجعلهم أيضا محصنين ضد الجدري الأخطر بمراحل وللتطعيم بالـ ب. س. ج B.C.G ضد الدرن تستخدم مزرعة حية ولكنها غير ضارة من بكتيريا الدرن لإحداث المناعة ضد الدرن الطبيعي الضاري، كما أن طعم سابين ضد شلل الأطفال هو سلالة حية غير ضارية من الفيروسات. والمهنة الطبية-بصفة عامة-تفضل-وهي حكيمة في ذلك-استحداث المناعة ضد المرض بحقن ميكروبات سبق قتلها بطريقة تجعلها ما زالت محتفظة بقدرتها على استعارة تفاعل المناعة. ومن أمثلة هذا النوع الحقن ضد أمراض بكتيرية كالتيفود أو الدفتريا.

ويمكن أن تنشأ المناعة ضد التوكسينات التي تصنعها الميكروبات كما تتولد ضد الميكروبات نفسها. والمصل الذي اكتسب مثل هذه المناعة يقال عنه انه يحتوي توكسينات [19] مضادة أو يسمى مصلا مضادا لمثل هذا التوكسين. وتستحدث الأمصال المضادة للتيتانوس وللتسمم البوتيوليني في أجسام الخيل، وتستخدم في حالات الطوارئ عند خطر الإصابة بهذه الأمراض. ولا يكتسب المريض في مثل هذه الحالات مناعة دائمة ضد المرض، ولا ضير في هذا عند الطوارئ وليس لأمراض مثل النكاف والحصبة

والأنفلونزا حتى اليوم أمصال مضادة يعتمد عليها، [20] ولكن لما كان أغلب الناس محصنين ضد هذه الأمراض في أغلب الأحيان فان الأمصال المستجمعة من أعداد الناس إذا هي حقنت في المصاب تخفف المرض إلى حد كبير بتهيئة مناعة جزئية. وهذا هو منطق استخدام جلوبيولين جاما وهو نوع من الأمصال المستجمعة يأتي من بنوك الدم لعلاج المرض بمثل هذه الأمراض (مثل الكبار المصابين بالنكاف أو الحوامل المصابات بالحصبة الألمانية) حين يكون من الخطر ترك المرض يجري مجراه الطبيعي.

ونوعية تفاعلات المناعة أمر بالغ القيمة عند الميكروبيولوجي. والواقع أن هذه النوعية تزوده أحيانا بالوسيلة الوحيدة المتاحة للتعرف على الميكروبات. وقد حدث وباء مخيف من التيفود عام 1964 في أبردين [21] وظهر أن السبب يرجع إلى تلوث آلة تقطيع اللحم من جراء تقطيع بعض لحوم الأبقار المعلبة المصابة بالعدوى فتلوثت لحوم مطبوخة أخرى أثناء قطيعها بنفس الآلة. وانتشرت-نتيجة لذلك-الميكروبات بين عملاء المحل وسببت وباء متفجرا أصاب اكثر من 400 حالة قبل السيطرة عليه.. وقد كانت الحكاية كلها سلسلة عجيبة من الحوادث المؤسفة، إذ يستعصي على التصديق مثلا أن اللحم الأصلي كان على هذه الدرجة البالغة من التلوث رغم أن مظهره لم يكن يبدي سوءا، لكن التجارب التالية أظهرت أن معلبات اللحوم التي لوثت عمدا بميكروبات التيفود وحدها كانت تبدو سليمة تماما لمدة ثلاثة شهور. أما أسلوب الاستقصاء لمصدر العدوى-وهو لحم قاوم تلوثه الطبخ-فقد كان كذلك عملا من أعمال المخابرات يدعو إلى التقدير. (وعلى سبيل المثال أصيب جميع أفراد إحدى العائلات بالعدوى ما عدا واحدا ظهر أنه يكره لحوم الأبقار المعلبة ولم يأكل منها شيئا). ولكن اكثر ما يثير إعجاب الرجل العادي كان التحقق من أن ميكروب العدوى إنما هو سلالة من أميركا الجنوبية، ثم ما تلاه من اكتشاف السبب الأصلي في عدوى اللحوم ؛ وهو عدم استخدام الماء المعقم بالكلورين في تبريد العلب في المصنع الأصلي في أميركا الجنوبية. وقد تم التعرف على سلالة الميكروب جزئيا باستخدام الأمصال المضادة، ذلك بان السلالات المختلفة من بكتريا التيفود (سالمونيلا تايفاي Salmonella typhi) تولد أجساما مضادة مختلفة إلى حد كبير، وهناك حصيلة من الأمصال المضادة للسلالات المختلفة

المعروفة محفوظة في المختبر المعوي الحكومي للمراجعة في شمال لندن. وإذ تم الحصول على مزرعة من وباء أبردين أصبح التعرف عليها كسلالة من أميركا الجنوبية مسألة روتينية (وإن كان قد تم استخدام صفة ثانية، هي قابلية السلالة للإصابة بفيروس بكتيري). [22] ويسمى الميكروبيولوجيون طريقة الميكروبات في التفاعل مع الأمصال المضادة ونوع الأجسام المضادة التي تتسبب في ظهورها بنمط مولدات المضادات لـantigenic pattern. وهناك مجموعات من الأمصال المضادة للبكتريا الطبية وغير الطبية تستخدم فقط للتعرف على الميكروبات المختلفة وتقسيمها. إن «نمط مولدات المضادات» في سلالة من الميكروبات يمكن تشبيهه بنوع بصمات الأصابع في تحقيق الشخصية. فلو كانت هذه الأنماط أو البصمات محفوظة في مكان ما لأصبحت فرص التعرف على «المذنب» كبيرة للغاية.

ولما تم العثور على مصدر وباء التيفود في أبردين أصبحت وسيلة انتشاره واضحة. فقد تناول الناس البكتريا مع اللحوم الباردة التي تلوثت بآلة تقطيع اللحم. ولما دخلت الميكروبات أجسام المرض تكاثرت وجرى المرض مجراه العادي ؛ فادى إلى الحمى والقيء والإسهال ونحو ذلك.

ولا تنتشر الأمراض كلها بطريقة واضحة كهذه. وقد أمكن استئصال الجدري مثلا بوساطة التلقيح في سن صغيرة في بريطانيا[23] ولكن الزوار من الشرق الأقصى الذين يحملون المرض في فترة الحضانة عند وصولهم قد يدخلونه ثانية بين حين وآخر. وإذا كان من المعروف أن الجدري ينتقل من مريض إلى مريض بالملامسة البدنية ؛ أي أنه معد بالملامسة فهو ينتشر أيضا بطريقة مجهولة بغير ملامسة. وتسمى مثل هذه الأمراض بالأمراض المعدية، وفي حالة الجدري فان أسلوب الإصابة بهذا المرض عشوائي مما يجعلنا عاجزين عن تصور طريقة انتشاره. ولشلل الأطفال مسلك مشابه إلى حد ما. ويبدو أن هناك قابلية للإصابة بالمرض خلال آخر الصيف والخريف وذلك في البلاد المعتدلة لنصف الكرة الشمالي على الأقل. وكثيرا جدا ما يصاب إنسان واحد فقط في العائلة أو في جمع من الناس برغم أن الكل كانوا قد تعرضوا للعدوى على قدم المساواة فيما نعلم. وما زال طريق العدوى في حالة شلل الأطفال مجهولا. [24] ولكن من المحتمل أن الفيروس محمول جوا عالقا بالرذاذ الجاف للأنفاس واللعاب وسائر إفرازات الجسم.

ومن المؤكد أن نزلات البرد والأنفلونزا تنتشر بهذه الطريقة، وهي أمراض شديدة العدوى، ومن المعروف أن عطسة محكمة التسديد من رضيع مزكوم قد تسبب المرض لجمع من اليافعين الشاخصين إليه بإعجاب. كما أنه من المحتمل تماما أن يظل المخاط الجاف المحفوظ في منديل الجيب معديا زمنا طويلا، وقد يعدى المصاب الأصلي مرة أخرى من جديد. ويعرف كثير من العائلات جيدا أنهم في شتاء قاس قد يحتفظون بما يبدو أنه نفس العدوى تدور من إنسان إلى إنسان خلال الفترة من نوفمبر إلى إبريل، ويصبحون بالنسبة إلى أصدقائهم وأقربائهم قوما من ذوي الأنوف الحمراء المرعبين. ومع ذلك فعندما حاولت وحدة أبحاث البرد العادي (الزكام) في سالزبري (Salisbury)[25] أن تعيد هذا النوع من الانتشار في ظروف المختبر وجدت الأمر عسيرا جدا. فهل تحتفظ العائلة حقا بنفس البرد (الزكام) منتشرا طيلة الشتاء؟ أم أنها تصبح فحسب اكثر تعرضا لنزلات برد (زكام) مختلفة وتظل منتشرة؟ نحن لا نعرف الإجابة حتى الآن. وعلينا-حتى نعرف-أن نلجأ إلى مناديل الورق التي نستعملها حالما ينتشر البرد، وأن نحرقها بعد استعمالها لا أن نرميها في صناديق النفايات أو سلال المهملات ونحوها.

والكثير من الأمراض البكتيرية وأغلب الأمراض الفيروسية معدية. وبروتين المخاط الموجود في رذاذ السعال والعطس يحمي الميكروبات من الآثار القاتلة للجفاف. وينتشر أغلب عدوى الحلق ببكتريا ستربتوكوكس Streptococci خلال هذه الطريقة. ولكن طريقة أخرى هامة للعدوى هي من خلال القناة الهضمية، كما أن فهم السبب في هذا يكشف بعض الحقائق التي تدعو إلى القلق حول سلوكنا الاجتماعي والمنزلي حتى في هذا العصر الصحي نسبيا. فاغلب الناس اليوم يغطون أفواههم ا بالمناديل عندما يسعلون أو يعطسون، وهم يعرفون السبب في هذا ؛ وهو حماية الآخرين من سيال الرذاذ المعدي الذي يولده السعال أو العطاس. ويفهم عدد أقل من الناس-وان كان كبيرا-أن عليهم غسل أيديهم بعد استعمالهم دورات المياه. فورق التواليت منفذ للبكتيريا كما أن الفضلات-دون الإفاضة في الحديث عنها-إنما هي كتلة متكاثرة من البكتريا والفيروسات وقد يجوز أن يكون أغلبها مرضيا. على أن القليل من الناس هم الذين يدركون أن طوفانا ورذاذا من

الماء والإفرازات تتولد عند شد السيفون بأسلوب مشابه لما يحدث أثناء العطاس. ويمكن أن تفصل مجموعات من الكلوستريديا البرازية بكتيريا سربتوكوكس من أية دورة مياه: من السقف والجدران ومقابض الأبواب. ومما حول المقعد وتحته. إن دورات المياه في بريطانيا تولد حقا مثل هذا الرذاذ المعدي. ومن الجائز أن أنواع السيفونات الدوامة المستعملة في الولايات المتحدة الأميركية-والتي تعتمد على دوامة الماء أكثر من رشه دفعة واحدة-أقل كرما في مسألة توزيع الميكروبات البرازية في أرجاء دورة المياه. ونجد-فضلا عن ذلك-أن أغلب دورات المياه العامة والمنزلية مصممة بحيث تكون أحواض مغاسل الأيدي في غرفة منفصلة عن دورة المياه، وهو أمر مناسب لو أن شخصين يرغبان في استعمال الغرفتين في وقت واحد، ولكنه يعني أن من يشغل دورة المياه يجب أن يستخدم يدا غير مغسولة في شد السيفون وفتح الباب. أن فكرة تزويد دورات المياه بمغاسل الأيدي في نفس الغرفة تنتشر ببطء في هذه البلاد وان كان إدراك أهميتها قد انتشر على نطاق واسع نسبيا في الولايات المتحدة الأمريكية والبلاد الإسكندنافية. وقد وجدت-بهذه المناسبة-أن لديهم في السويد ورقا للتواليت يعد الوحيد المصمم بطريقة معقولة. وهو لفة من طبقتين تكون الخارجية هي النوع البريطاني التقليدي ناعمة غير منفذة (ولكنها نسبيا غير نافعة للغرض الأساسي منها). أما الطبقة الداخلية فمن النوع اللين الماص الذي يزداد شيوعه الآن لخصائصه الماسحة الطيبة وان كان شديد النفاذية للميكروبات. وربما كان هذا الجمع بين الطبقتين عند استخدامهما بطريقة صحيحة أصح المواد المتاحة للاستعمال الأوروبي.

وبينما نحن نتناول هذه الأمور الهامة-وان كانت غير شيقة-دعنا نتناول بالحديث المباول العادية العامة للرجال. والواقع أن البول في الأحوال الطبيعية يكون سائلا معقما. فليس هناك بكتيريا في البول الطازج إلا إذا كان الإنسان مصابا بعدوى في الكلية أو قناة مجرى البول. وقد استخدم اللورد ليستر، Lister العظيم ورائد الصحة الأولية في الجراحة والمستشفيات-استخدم البول الطازج كسائل معقم ميسور في بعض تجاربه الحاسمة عن انتشار البكتيريا المحمولة جوا. على أن المباول ليست معقمة على الإطلاق، فهي مزرعة من البكتيريا وهي غنية بصفة خاصة بأنواع قادرة على النمو

في البول وإطلاق النوشادر (الأمونيا) من البولينا فيه. وقد صممت المباول في الأحوال المعتادة بحيث تضمن رشا مرتجعا كريما من هذه البكتريا على الأحذية والبناطيل لمن يستعملها، وبهذا تسهم هي الأخرى في انتشار البكتريا الضارة وغير الضارة. أما النوع الفنجاني من المباول فهو أفضل من ناحية الصحة بتخفيفه من عملية الرش.

والبريطانيون أمة وسخة كما بعلم كل من سافر إلى الشمال أو الغرب (ولكن أولئك الذين يسافرون نحو الجنوب أو الشرق ينتهون إلى استنباط معاكس، وعلينا أن نكون ممتنين. فالبرغم من سمعتنا الوطنية في القذارة ميلنا إلى تلويث الأماكن العامة وإساءة استخدام المرافق العامة إلا أننا نرتفع إلى مستوى راق من الصحة العامة بالمقاييس العالمية). ولأمم أخرى قدرة على التحمل، إذ تعيش ومظاهر الصحة بادية عليها ولسان حالها يتساءل: ما الذي يهم، لو أننا رششنا أنفسنا بانتظام بضباب رقيق من البراز ؟ ألا نبني بذلك مناعة ضد الأمراض المعدية ولولا هذه المناعة لوقعنا صرعى للمرض ؟ إن الإجابة بالطبع هي أن الإنسان يمكن بالتأكيد أن يكون بالغ التبرم بهذه الأمور. وبعض التعرض للعدوى مسالة أساسية لاكتساب المناعة. ولكن دولا ذات مستوى صحي أدنى من مستوانا ما زال لديها أمراض كالتيفود والزحار والكوليرا متوطنة بين سكانها. ويرجع السبب الرئيسي في خلونا الآن من هذه البلايا إلى تمسكنا بمستويات الوقائية الأساسية. ولكن الحرية المتزايدة في السفر بين الأمم قد أدت إلى انتقال أمراض بن هذا النوع بسهولة اكر فاكبر إلى مناطق في العالم سبق أن تخلصت منها. إن. التخلص كلية من التلوث العرضي بالميكروبات البرازية يجوز أن بكون غير عملي خلال هذا القرن على الأقل، ولكن شيئا من البداهة في تصميم واستخدام دورات المياه أمر أساسي إذا كان لبريطانيا أن تظل خالية من أخطر أنواع العدوى التي تنتشر عن طريق القناة الهضمية.

إن التيفود والكوليرا والزحار تبلغ نسبا وبائية عندما تلوث مياه الشرب بالميكروبات البرازية. وهذا هو السبب في الجهد الكبير الذي تبذله سلطات الصحة العامة في مراقبة التلوث البرازي للمصادر المحتملة لمياه الشرب. والواقع أن الأمراض المنقولة خلال المياه نادرة في بريطانيا. والطرق الرئيسية لانتقال العدوى منها ربما كانت رذاذ الأنفاس المحمول جوا. أما تلوث المواد

الغذائية فيحدث بإهمال الوسائل الصحية والإهمال في أمور الصحة اليومية (إن اللافتات التي تقول: «الآن اغسل يديك» ما تزال إجبارية في دورات مياه العاملين في صناعة الأغذية). وتحتوي أقداح الشاي المشروخة على الميكروبات الممرضة للفم في شروخها. ويمكن لإصبع مجروح فيه عدوى أن ينشر بكتيريا ميكروكوكس الممرضة في طعام مجهز فيسبب التسمم الغذائي. وحتى منشفة التجفيف التي لا يخلو منها منزل يمكن أن تنشر قدرا من البكتيريا على طبق أو كوب مغسولين لتوهما اكبر من القدر الذي قد أزاله المنظف منهما. ومن حسن الحظ أن هذه البكتريا غير ضارة في الغالب وإلا لأصبح سوق مكنات غسل الأطباق اكثر انتعاشا مما هو عليه الآن.

وهناك أمراض معينة-وبخاصة أمراض الجلد-تعدي فقط بالملامسة المباشرة فهي تنتشر بالملامسة بين العضو المصاب بالعدوى عند المريض والعضو المعرض للعدوى عند شخص آخر. والمثل على هذا النوع مرض القراع الذي تسببه فطريات مختلفة تحمل جميعا اسم ميكروسبورون Microsporon. وثم مثل آخر هو مرض قدم الرياض الشائعة. [26] ولعل الأمراض التناسلية اكثر أمراض الملامسة إزعاجا من الناحية الاجتماعية، وهي تعدي الأعضاء التناسلية وتنتقل أثناءالاتصال الجنسي. فالسيلان مرض مؤلم تسببه بكتريا كرية هشة من مجموعة نيسيريا Neisseria، ويمكن شفاؤه بسهولة نوعا بوساطة العلاج الكيماوي الحديث، ولكن العلاج الذاتي الذي انتشرت ممارسته لدى القوات العسكرية أثناء بعض الحملات عند نهاية الحرب العالمية الثانية أدى إلى ظهور سلالات من نيسيريا مقاومة للدواء. ولولا ظهور عقاقير جديدة فعالة ضد الميكروبات المقاومة لأصبحنا في موقف حريم. أما الزهري فهو مرض أفظع، لأن اكتشافه أعسر، وتسببه بكتيريا لولبية تسمى تريبونيما باليدم Treponema Pallidum. ولو تفشى بغير علاج يوقفه لأدى بالمريض إلى انحلال بدني وعصبي وعقلي لا يمكن شفاؤه. وقد رأينا من قبل كيف أدخله الأوربيون في القرن الثامن عشر في جزر البحر الجنوبي. [27] وقد ظل متوطنا هناك أجيالا، وكثيرا ما أخر النمو العقلي والبدني للسكان، ونصب فخا خطيرا للزوار الذين أقبلوا في حماس بالغ للدخول في تقاليد الحرية الجنسية عند مثل هذه المجتمعات منذ عهد جوجان [28] ومن تلاه. وفي الإمكان شفاء الأمراض التناسلية إذا تم اكتشافها

في الوقت المناسب، ولكن ارتباطها بالتقاليد والمحظوران الجنسية في المجتمعات الغربية يجعلها مشكلة عسيرة بصفة خاصة في الصحة الاجتماعية. والراجح أن يكون نمط الشخصية المعرضة للإصابة بالعدوى التناسلية-على الأقل في المجتمعات الغربية-من الذين لا يبالون كثيرا بملاحظة المرض في مراحله الأولى. وبالانتظام في العلاج وتفادي نشر المرض. ولذلك تبقى بؤر العدوى وبخاصة في الموانئ أو المناطق التي يكثر فيها المهاجرون والطبقات الدنيا من السكان. ويمكن أن تكون هذه البؤر مدعاة ليأس الباحثين الاجتماعين والأطباء المعالجين وأطباء الصحة العامة. وفوق هذا، كان العقد الأخير أو العقدان فترة شك فيها المراهقون في العقائد الجنسية والدينية والاجتماعية في المجتمع الغربي، كما سبق أن شك جيل أسبق في مبادئه السياسية في العشرينات والثلاثينات من هذا القرن. ولا ريب أن غاية «الأخلاق الجديدة» التي هي في طور النمو ستكون بناءة في النهاية، ولكن النتيجة الفورية كانت زيادة كبيرة في الإباحية الجنسية. ومن ثم انتشار الأمراض التناسلية بين المراهقين. ويأتي المرض الآن من عائلات الطبقة المتوسطة العادية هنا وفي الولايات المتحدة الأمريكية والبلاد الاسكندنافية. ويخرج عن مجال هذا الكتاب أن نناقش ما إذا كانت «الأخلاق الجديدة» تستحق الأسى أم التشجيع، وأيا ما كانت ألوان التنوير التي قد تأتي بها فحسبنا هنا الأمل في أن تكون التربية في الصحة الجنسية من بينها.

وانتشار الأمراض المعدية يخضع عادة للصدفة، وان حدث في بعض الأحيان تشجيع على نقل العدوى عمدا. فالحصبة الألمانية مرض خفيف في الطفولة ولكن لو أصيبت بها امرأة بالغة حامل في المراحل الأولى فقد تؤدي إلى تشوهات في الجنين. ولذلك يشجع الأباء أحيانا أطفالهم الصغار من الفتيات على اللعب مع المريضات من أقرانهن على أمل في الإصابة والخلاص من المرض. وقد فعلت ذلك أنا نفسي (وظلت بناتي صحيحات صامدات، ثم أصبن بالمرض بعد عدة شهور في وقت غير مناسب إطلاقا).[29] وقد شجع آخرون انتشار النكاف بهذه الطريقة فللمرض آثار رهيبة على البالغين ولكنه نادر الخطورة في الأطفال [30] (ولم أشجع العدوى بالنكاف ولكن بناتي على الرغم من ذلك أصبن به وأعدينني..) وبالرغم من أن

النشر المتعمد للمرض بين الرجال لم يمارس على نطاق واسع-إلا أن هذا الأمر لم يغب عن أذهان العسكريين كأحد الأسلحة الممكنة في الحروب. وقد اخترم الطاعون الدملي السكان تلقائيا في العصور الوسطى كما رأينا من قبل، وتسببه بكتيريا باستوريلا بستس Pasturella Pestis. ويمكن أن يكون النشر المتعمد لمرض فتاك مشابه بين صفوف العدو وسيلة فعالة من وسائل الهجوم تهبط بروحه المعنوية وتترك صناعته وثروته بغير تدمير كبير. والمثل على هذا حكاية فظيعة تروى عن الرواد الأمريكيين الأوائل الذين اتهموا ببيع البطاطين الملوثة بالجدري للهنود الحمر، وهم يعلمون تماما أن الهنود لا يملكون مناعة طبيعية للداء. إن الحرب البيولوجية-كما تسمى اليوم-تتطلب ميكروبا شديد العدوى، سريعا خطيرا في فعله، مع إمكان تحصين القوات الوطنية والمواطنين المدنين ضده. والأرجح أن يكون هذا الميكروب فيروسا، لأن أغلب العدوى البكتيرية تتأثر بالعقاقير والمضادات الحيوية-كما سنرى فيما بعد-بينما لا تتأثر الفيروسات عادة. ويمكن أن ينتشر هذا الفيروس على هيئة رذاذ لأنه بهذا يصيب عددا اكبر من الناس وتصبح السيطرة عليه أعسر من السيطرة على تلوث الطعام أو الماء ومن مكافحة الحشرات أو الفئران المصابة عند انتشارها. وستكون الحرب زهيدة التكاليف ؛ فكل ما تحتاج إليه لإنتاج السلاح مختبر متواضع مع المعرفة الضرورية (وإن كان استعمال مثل هذا السلاح مسالة مختلفة كل الاختلاف).

ويمكن أن يجادل الإنسان بقوله أن الحرب البيولوجية-في هذه الأيام من الجحيم الذري-تعد صيغة إنسانية نسبيا من صيغ الحرب. ذلك بان هناك احتمالا معقولا لبقاء الجنس البشري ممثلا في بعض الأحياء، مهما يكن سلاح الحرب البيولوجية فاتكا لسبب بسيط، هو أنه لا يوجد حتى اليوم مرض لا يكون لدى قلة من السكان مناعة قوية ضده. ولا يصدق هذا بالضرورة على الحرب الذرية التي يمكن-من ناحية المبدأ-أن تدع الكوكب قاعا صفصفا خاليا من الناس والحيوانات العليا طيلة سنين بل عقود من السنين. ولكن-من الناحية العملية-لا يبدو هناك احتمال على الإطلاق لاستعمال سلاح الحرب البيولوجية. فالمشكل هائلة فيما يختص بتحضير القدر الكافي من الميكروبات وتحصين المواطنين، ثم توزيع الميكروبات بحيث يتجه رذاذها نحو الطريق الصحيح، حتى لو توفرت الموارد الضخمة تحت

تصرف المؤسسات الحربية الحديثة. ولا يقبل العقل العسكري في الحقيقة سلاحا يمكن أن يرتد إلى نحره لو غيرت الريح اتجاهها. وفضلا عن ذلك فاغلب الميكروبات التي ينقلها الهواء يقتلها ضوء الشمس-كما سنرى فيما بعد-لذا فالحرب البيولوجية الفعالة يبدو أنه لن يمكن شنها إلا أثناء ساعات الظلام.

وعندي أن العوامل البيولوجية مع أشعة الموت وأشعة ليزر وقنابل النيوترون ونحوها تنتمي إلى مجالات الخيال العلمي اكثر مما تنتمي إلى العملية. ولكن الكثيرين لا يشاركوني رأيي. أن نتائج مثل هذه الأسلحة مرعبة حقا، كما أن مدى الخبل الإنساني يبدو بغير نهاية، وربما كانت الحكومات على حق في الاهتمام بمختبرات الحرب الجرثومية طالما أمكن تشجيع العلماء على العمل فيها.

لقد ذكرنا الآن أن ضوء الشمس يقتل رذاذ الميكروبات، وينتهي بنا هذا إلى التساؤل عن السبب في كون الأمراض موسمية. وهناك إجابات كثيرة على هذا السؤال: فمناعة الإنسان الطبيعية تعتمد على حالته الغذائية وعلى ألوان أخرى من الإجهاد يتحملها (وضمنها الإجهاد العقلي). وقد قدمت كل الاختبارات المعملية التي أجريت حتى الآن دليلا ضئيلا جدا لتأييد الفكرة الشائعة التي مفادها أن الرطوبة والرد يزيدان من تعرض الإنسان للمرض. وبدلا من ذلك يبدو من الأرجح أن الجو الرطب يطيل عمر الميكروبات في الرذاذ، وكذلك تفعل درجة منخفضة من الإضاءة، وتبعا لذلك عندما يكون الهواء رطبا وساعات النهار في الشتاء أقصر يتلقى الناس في المجتمعات جرعات اكبر من الميكروبات الحية المعدية في كل الأوقات. وبذلك تزيد فرصة أصابتهم بالمرض. وضوء الشمس سرعان ما يقتل أغلب الميكروبات المرضية في درجات الحرارة العادية عندما يحملها الهواء في قطيرات مجففة جزئيا (وان كان قتل جراثيم الميكروبات أبطأ كثيرا). ويعود الأثر القاتل الرئيسي إلى الأشعة فوق البنفسجية في الإشعاع الشمس. ويمكن استخدام مصابيح الأشعة فوق البنفسجية لتعقيم الهواء في غرف العمليات ومصانع الأدوية والمختبرات الميكروبيولوجية. وحتى في ضوء النهار المنتشر يوجد قدر معقول من الضوء ذي الموجات الفعالة، وان كان لا يكاد يخرق الزجاج منها شيء في هذه الأحوال. وتوجد بكتيريا معينة

تقاوم تأثير ضوء النهار المعقم، وهي-على وجه العموم-غنية بصبغة الكاروتين التي توجد أيضا في النباتات وتحمي صبغة اليخضور (الكلوروفيل) الرقيق في الأوراق من أتلاف الضوء لها. ولكن من دواعي السعادة أن هذه البكتيريا ليست في العادة مرضية. وفيما يتعلق بالميكروبات المعدية فاغلبها لا ينتج جراثيم. ولذلك فالخلاء في ضوء النهار مكان آمن نسبيا حتى في الشتاء. والثلج وأشعة الشمس مع ما تحتويه من نسبة عالية من الأشعة فوق البنفسجية معقمان من الوجهة الطبية. ولا ريب في أن هذا هو السبب في أن شتاء قاسيا ولكنه شمس قد يحمل من النزلات التنفسية أقل مما يحمله الشتاء البريطاني النمطي، البارد الرطب المعتم.

ويعجل الجفاف-كما ذكرنا من قبل-بقتل الميكروبات في الهواء. وهي أن كانت تعيش برهة في الأحوال الجافة فأنها تموت أسرع مما لو كانت الرطوبة النسبية عالية. والتفريغ الكهربي عامل مهم في موضوع نشر العدوى بين المجتمعات المزدحمة. وقد نتوقع أن خطوط مترو الأنفاق ج في لندن تمثل بؤرة لكل الأمراض الممكنة، وبخاصة في الشتاء حيث يتجمع فيها ملايين الناس مرتين يوميا طول العام. على أن الأمر في الحقيقة ليس كذلك. فالهواء قي خطوط مترو الأنفاق جد خال من الميكروبات الحية. ويبدو أن السبب في ذلك راجع إلى الشحنات الكهربية المتكررة التي تحدثها القطارات فتولد غازات الأوزون وأكاسيد النتروجين، وكلاهما معقمان فعالان تماما للهواء. لقد تعود الأستاذ د. د. وودز D.D.Woods-وكان من أشهر العلماء في مجال كيمياء الميكروبات-أن يصف دهشته في بواكير عمله من اكتشافه أن الهواء في مختبره في أحد مستشفيات لندن كان معقما حتى عند فتح النافذة حيث يتوقع دول كل أنواع الجراثيم والميكروبات المحمولة جوا. وكان السبب الذي اكتشفه هو أن نافذته كانت ملاصقة للمخرج الرئيسي لنظام التهوية في مترو الأنفاق في لندن ! وقد يبدو أن جوانب عديدة من التمدن تزيد من احتمالات المرض، إلا أنه مما ينعش الإنسان أن يصادف جانبا يعمل بطريقة مخالفة. ولو قيض لنظام النقل في الأنفاق في لندن أن يهجر الكهرباء إلى مصدر آخر من مصادر الطاقة فمن الطريف أن نتوقع وباء من النزلات التنفسية لا مثيل له، حتى في هذه الجزر المشهورة بالنزلات الشعبية.

لقد ناقشنا-حتى الآن-من أين تأتى الميكروبات، ولماذا تسبب الأمراض على قدر ما نعلم، وكيف يتم انتقالها، وكيف تعمل دفاعاتنا الطبيعية ضدها. وقد ظلت «القضية» في هذا الفصل الخامة بمحكمة الميكروب قوية جدا حتى الآن. ولعلنا نذكر كلمة حول الميكروبات غير الضارة التي تشيع في المجتمعات المتحضرة، وذلك قبل أن نلتفت إلى موضوع العلاج الكيماوي وكيف نساعد دفاعاتنا الطبيعية في التغلب على الميكروبات المعدية. والجلد مثلا تعيش عليه بكتريا ستفيلوكوكس البيضاء غير الضارة تماما. وقد سبق ذكرها من قبل في هذا الفصل، وتتداول هذه الميكروبات بين الناس في كل حين. وتعيش بكتيريا ميكروكوكس في الأنف والحلق عادة. ويمكن بالوسائل المصلية أن نميز أنماطها، ونبين أن الناس يحتفظون «بسلالاتهم الشخصية» سنين عديدة: ويحدث أن يتلقى الإنسان سلالة من ميكروكوكس في بكورة الحياة وهي-بطريقة خفية تماما-تطرد السلالات الخاصة بالآخرين. وفي الفم مجموعة من بكتيريا لكتوبسللس Lactobacilli، وهي ميكروبات تعيش في اللبن (وسيأتي ذكرها مرة أخرى في الفصل الخامس). كما يوجد في الفم بكتيريا مخيفة الشكل لولبية، والظاهرة أنها غير ضارة على الإطلاق وتسمى ليبتو سبايرا بكاليس Leptospira buccalis. ويتغذى على هذه الكائنات حيوان أولى (بروتوزون) هو إنتاميبا جنجيفاليس (أميبا اللثة) Entamoeba gingivalis ولعله نافع في خفض أعداد الميكروبات وحفظها في حدود معينة. أن الطبقة التي تنمو على الأسنان واللثة العادية-والتي نزيلها عندما ننظف الأسنان في الصباح-إنما تتكون كلية من الميكروبات. [31] ولها تحت المجهر شكل مزعج جدا لمن لا يدري، ولكنها مدهشة تماما لأولئك العارفين بان هذا العالم الضئيل هو بالضبط ما ينبغي أن يكون.

إن التسوس العادي للأسنان يرجع إلى الأحماض [32] التي تصنعها بعض البكتريا في الفم أوكلها، ولعل السبب الأولي في التسوس يعود إلى فشل العائل في التغلب على ما في فمه من أعداد الميكروبات الطبيعية اكثر مما يعود إلى ظهور أنواع مرضية جديدة ؛ ذلك بان الميكروبات تصنع أحماضا، سواء حدث التسوس أم لم يحدث. أن نقص الفلورين-وبخاصة في باكورة الحياة-يخلخل مقاومة الأسنان للأحماض التي تنتجها ميكروبات الفم. [33] ويحصل الإنسان على الفلورين من ماء الشرب بصفة رئيسية.

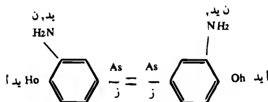
والمعروف الآن أن أغلب مصادر المياه في بريطانيا ينقص فيها الفلورين. إنها مأساة-حين إعداد هذا الكتاب-أن حفنة من المتهوسين في أنحاء البلاد يدمرون أسنان الجيل القادم بمعارضة فلورة مصادر المياه المحلية. [34]

سوف نرى في الفصل الخامس كيف أن البكتريا الموجودة عادة في أمعائنا تساهم في تغذيتنا بوسائل هامة. ولعل هذه البكتيريا أنفع الميكروبات التي اعتادت على العيش معنا. ويجوز-كما رأينا من قبل في هذا الفصل-أن يكون هناك فيروسات عديدة غير ضارة في القناة الهضمية. إن قناة مجرى البول يجب أن تكون معقمة، ولكن قناة المهبل في الإناث تحتوي عادة في إفرازاتها على بكتيريا ميكروكوكس التي لا أذى منها. ويغلب على الأماكن التي يزيد فيها إفراز العرق كالإبطين وما بين أصابع القدمين أن تكون أغنى بالميكروبات. وترجع رائحة العرق المميزة إلى نشاط الميكروبات في العرق. ولبعض مكونات العرق تأثير مضاد للميكروبات وتساعد في الإقلال من أعدادها ولكنها ليست فعالة بالكلية. ومزيلات رائحة العرق لا تزيل الرائحة في الحقيقة وإنما تحتوي على مطهرات تمنع نمو الميكروبات التي تسبب الرائحة. ويصاب الرضع بطفح اللفائف لا لكون البول بطبيعته قاسيا على جلودهم وإنما لأن البكتيريا تنمو في اللفافة المبتلة وتنتج الأمونيا من بولينا البول. فالأمونيا هي التي تسبب الطفح إذ هي مهيج قوي للجلد. أننا في الحقيقة نعيش مع أعداد عظيمة من «الميكروبات الشخصية»، وهي في الأحوال العادية غير ضارة. وإنما تصبح مزعجة فقط عندما نسلك سلوكا غير صحي.

بهذا التبجيل للميكروبات غير الضارة، بل والميكروبات المرغوبة التي تعيش معنا سنعود مرة أخرى إلى الميكروبات المرضية ومسألة كيف يمكن أن نعين الدفاعات الطبيعية ضد غزو الميكروبات.

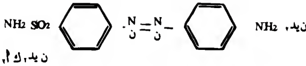
لقد ظل الإيمان بوجود مواد معينة تشفي المرض منذ قديم الزمان. والآثار النافعة لخلاصات الأعشاب ومسحوق قشرة المحار والمشروبات الكحولية [35] على الحميات وأمراض الحيوان-وهي غالبا من نسج الخيال-لا تزال جانبا من تقليد قوي في الطب الشعبي يعيش حتى يومنا هذا. وتحتوي كتب الطهي في القرنين السابع عشر والثامن عشر على عدد كبير من أصناف الأطباق التي تعالج المرض، يماثل ما تحتوي عليه من أصناف

الأطباق الشهية. وقد صادفت-منذ سنين مضت-مثلا لا يسر في كتاب للطهي في القرن السابع عشر، وهو يوصي بماء القواقع ؛ أي النقيع الناشئ من نقع القواقع الحية طويلا في الماء كعلاج أكيد للدرن. أن بعض هذه العلاجات الطبية الشعبية نافع بلا شك. ولكن وراء اكتشافها ووصفها منطق ضعيف. وقد استمر هذا الوضع حتى نهاية القرن التاسع عشر، عندما شاع في ذلك الحين الاتفاق على نظرية الميكروب في أحداث المرض، وكانت الكيمياء العضوية تتقدم بسرعة مذهلة فكان المسرح معدا لظهور العلاج الكيماوي Chemotherapy ؛ وهو علم التحكم في الأمراض بكيماويات نوعية-ولعل بول ارلنج Poul Ehrlich هو أبو العلاج الكيماوي، وهو عالم ألماني، كان أعظم اكتشافاته عقار سالفرسان Salvarsan أو إرلنج 606 606 Ehrlich الذي أثبت كفاءة عالية ضد الزهري. وكان العلاج الوحيد لهذا المرض من قبل-وهو علاج خطير غير مؤكد-هو تناول المريض لمشتقات الزئبق السامة. فإذا عاش المريض كانت هناك فرصة معقولة لقتل بكتيريا الزهري وشفاء المريض. ونشأ موقف مشابه في علاج مرض تريبانوسومياسيس Trypanosomiasis (مرض النوم الذي يسببه حيوان أولي-بروتوزون) بمركبات الزرنيخ. ولذلك شمر ارلينج عن ساعد الجد وحضر-عن قصد-مادة عضوية تحتوي على زرنيخ يظل فعالا ضد طفيليات مرض النوم ثم يكون مع ذلك أقل فتكا بالإنسان. كان السالفرسان هو العقار السادس بعد الستمائة للاختبار، ولم يكن قوي الأثر على مرض النوم ولكنه أثبت اكبر الفعالية ضد الزهري. ويمثل الكيماويون السالفرسان بالتركيب التالي:

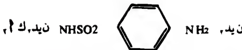


كما لاحظ إرلينج أن الأصباغ-التي كان يستخدمها البكتيربولوجيون لكي تظهر هذه الميكروبات تحت المجهر-كانت تمتصها البكتيريا بشراهة. وإذا أمكن جعل هذه الأصباغ سامة، أفليس من الجائز استخدامها في

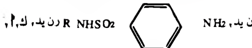
شفاء الأمراض الميكروبية عند المريض الحي ؟ لقد قدم ارلينج الأكريفلافين Acriflavine وهو صبغة صفراء ما زالت تستعمل في علاج الجروح السطحية وحالات الجلد، وهي قاتلة قوية للبكتيريا، ولكنها شديدة السمية فلا تصلح للاستعمال الباطني. أما الأصباغ الأخرى كأزرق المثيلين methylene blue فقد أثبتت بعض الفاعلية في قتل الميكروبات، ولكنها كانت سامة نوعا (وما زالت تستخدم أحيانا). وقد جاء دوماك Domagk بأروع تقدم في هذا الاتجاه عند حصوله على العلاج الكيماوي الأول الذي كان فعالا جدا ضد البكتيريا، وهو عقار برونتوزيل Prontosil وتركيبه الكيماوي:



لقد تجلت في نشأة البرونتوزيل مهارة حقة ؛ فلم يكن في الواقع مادة ملونة وان كان له تركيب الصبغة. وقد تأكد دوماك ومساعدوه من أن العامل الهام في مادة العلاج الكيماوي كان خاصية امتصاص الميكروبات القوي للمادة وليس خاصية اللون. ثم تخللت مهارة الاكتشاف عن موضعها هوناما عندنا ظهر أن البرونتوزيل يتكسر في كبد المرضى إلى مادة سلفانيلاميد Sulphanilamide وتركيبها:



وهي مركب لا يشبه الصبغة في شيء ولكنها كانت في مثل فعالية البرونتوزيل. لقد فتح هذا الاكتشاف الأبواب لفيضان من العقاقير الفعالة ضد الميكروبات تسمى عقاقير السلفوناميد عند الإنجليز Sulphonamides وعقاقير السلفا عند الأمريكيين Sulfa drugs وتركيبها العام:



حيث تكون ر R مجموعات ذرية تبلغ نحو مائتي مجموعة إلى ثلاثمائة

حسب الصفات الخاصة المطلوبة. وفي الإمكان التحكم في تركيبها في المختبرات الكيماوية لكي تظل في الأمعاء بغير امتصاص أو تمتص في تيار الدم. وفي معظم الأحوال كانت عقاقير السلفا اكثر فعالية ضد الميكروبات من البرونتوزيل الأصلي. وكان كثير منها أقل سمية للإنسان من المواد الأصلية.

ومن العسير اليوم أن نعيد إلى الذاكرة الأثر الذي أحدثته عقاقير السلفا بين عامي 1935 و 1937. إذ أوشك الالتهاب الرئوي أن يصبح مرضا تافها، وكان-فيما سبق-المرض القاتل الأول في بريطانيا.كما انخفض أثر حمى النفاس انخفاضا هائلا فيما يختص بمعدل الإصابات والوفيات، وحمى النفاس عدوى تصيب الجسم عامة، وترجع إلى بكتيريا سربتوكوكس بيوجينيس Streptococcus pyogenes، وغالبا ما كانت تحدث الإصابة به أثناء الحلول في المستشفى عند الولادة. لقد كانت مركبات السلفا في الحقيقة نصرا للمعالج الكيماوي.

ومع هذا فقد ظل لدى العلماء تساؤل بسيط ملح: إن هذه العقاقير ليست شبيهة بالأصباغ، فلماذا إذن كانت رائعة جدا في أثرها ؟ ولقد جاءت الإجابة التي اكتشفها الأستاذ د. د. وودز D.D.Woods وكان يعمل في مختبرات السير بول فيلدس Sir Paul Fildes في الأربعينات، على غير المتوقع. فقد اكتشف وودز أن بعض المواد مثل مصل الدم يحتوي مادة تجعل البكتيريا منيعة ضد السلفا. ثم عزل هذه المادة، وثبت أنها مركب بسيط يسعى حامض البارامينو بنزويك Para-amino benzoic وتركيبه:



ومن التأثيرات العجيبة د: ب أ ب (وهو ما سوف نطلق على هذا الحامض اختصارا) أنه إذا كان هناك قدر بسيط من السلفا كانت الحاجة بسيطة إلى ب أ ب كي يعادل تأثير السلفا على البتكيريا، ولكن لو كان هناك قدر كبير من السلفا صارت هناك حاجة إلى قدر كبير أيضا من ب أ ب.. وبدا أن هناك نوعا من التنافس بين ب أ ب والسلفا فيما يتعلق بالميكروبات. كما لاحظ الأستاذ وودز أيضا أن تركيب ب أ ب يشبه التركيب العام للسلفا

الذي كتبناه، واقترح الفرضية التالية لتفسير الموقف. إذا افترضنا أن كل الميكروبات تحتاج إلى ب أ ب كي تنمو فربما ظهرت السلفا أمام الميكروبات شديدة الشبه بمادة ب أ ب، حتى لتحاول الميكروبات استخدام السلفا بدلا منها، ولذلك يقف نموها. ولهذه النظرية نتيجتان واضحتان. الأولى أن السلفا توجد لا لقتل الميكروبات، وإنما لإيقاف نموها فقط، والنتيجة الثانية أنه سيثبت-إن عاجلا أو آجلا-أن بعض الميكروبات عاجزة عن صناعة ب أب الذي تحتاج إليه، ويستدعي الأمر تزويدها به من أجل النمو. وفي الحالة الثانية يبدو أن ب أ ب يمثل الفيتامين بالنسبة لبعض الميكروبات.

وقد ثبتت صحة كلا هذين الاستنتاجين بصورة رائعة. فمركبات السلفا لا تقتل البكتيريا، وإنما توقف نموها في المريض المصاب بالعدوى، وتعطى وسائل الدفاع في الجسم مهلة تتولى هي فيها أمرها. والمعروف اليوم أن ميكروبات عديدة تحتاج إلى ب أ ب كفيتامين. وقد أدى اكتشاف ب أ ب كفيتامين إلى تقدم هائل في كل من الكيمياء الحيوية الميكروبية والكيمياء الحيوية العامة، وامتد إلى ميادين الكيمياء الحيوية التخليقية التي لا نستطيع هنا أن نتناولها. وقد فتح الاكتشاف-من الناحية الطبية-اتجاها جديدا منطقيا في العلاج الكيماوي: فلو عرف الإنسان أنواع الفيتامينات وعوامل النمو التي تحتاج إليها الميكروبات، لاستطاع أن يصنع في المختبر كيماويات تشبهها (وتسمى في لغة المختبر المتخصصة الأشباه التركيبية) وأفل أنها سوف تكبح نمو الميكروبات وبذلك تكون عوامل قيمة في العلاج الكيماوي.

وقد صدقت هذه الفرضية على نطاق واسع في أغلب الجوانب. وكانت الأربعينات وأوائل الخمسينات فترة من البحث المركز في تغذية الميكروبات، وتم اكتشاف وفصل الفيتامينات وأشباه الفيتامينات من المركبات، كما تم تحضير الأشباه التركيبية ؛ وكثيرا ما أثبتت-في تجارب أنابيب الاختبار-قدرتها على كبح نمو الميكروبات بطريقة التنافس التي أظهرتها السلفا. ومن دواعي السخرية أن نسجل أن جميع هذه العقاقير المصنوعة-بغير استثناء-لم يثبت لها جدوى في العلاج الكيماوي. فقد كانت شديدة السمية للإنسان أو كانت الكلى تفرزها إفرازا مفرطا، أو كان في دم الإنسان وأنسجته قدر زائد من الفيتامين الذي تعادله العقاقير أو أن البكتيريا المعدية ما كانت في حاجة إلى الفيتامين. وقد أثبت واحد من العقاقير

القليلة الناجحة-التي تم صنعها تبعا للاتجاه المنطقي-أنه لا يخضع للقاعدة على الإطلاق. وقد ظهر الأمر من دراسة أشباه فيتامين ب^2 (الريبوفلافين) الذي يحتاج إليه كثير من الميكروبات. فقد تمكن فريق من الباحثين في معامل شركة الصناعات الكيماوية الإمبراطورية من صناعة عقار بالودرين Paludrine في النهاية، وذلك بتغيير الأشباه بطرق مختلفة، وكان هذا العقار شديد الفعالية ضد الملاريا. ولكنه عندئذ كان قد تغير جدا في تركيبه الكيميائي، بحيث لم يعد له فعل تنافسي ضد فيتامين ب^2 على الإطلاق.

أما التقدم الرئيسي الذي يلي ذلك في العلاج الكيماوي فقد وقع بطريقة مختلفة تماما، وكان ذلك في أوائل الثلاثينات. إن أغلب الناس على علم بقصة البنسلين، وكيف تعرف عليه فلمنج Fleming عندما نما فطر ضال في مزرعة من البكتريا الكريهة وبدأ في أذابتها، وكيف حاول فلمنج فصل المادة الفعالة وفشل، ثم اعتراه اليأس، وكيف أن «تشين Chin»،-وكان لاجئا يعمل في اكسفورد تناول المشكلة، ونجح في استخلاص المادة، وكيف أثبتت فعاليتها بطريقة رائعة تفوق أي عقار معروف حتى ذلك الحين، وتم تحضيرها في خاضات اللبن في اكسفورد، وكيف تحول الإنتاج إلى الولايات المتحدة الأمريكية نظرا لاستمرار الحرب العالمية الثانية وما أعقب ذلك من نتيجة مضحكة، فقد كان على البريطانيين بعد الحرب أن يدفعوا رسوما لحقوق الإنتاج حتى يستخدموا وسائل الصناعة المطورة هناك، وكيف أصبح البنسلين شائعا في العالم بعد الحرب. ولكن استخدامه أدى إلى ظهور سلالات بكتيرية مقاومة للبنسلين ومرضى ذوي حساسية لهذا العقار. أن هذه القصة أو هذه القصص تحتاج إلى كتاب خاص بها ؛ بتشعباتها في السياسة والنواحي الشخصية والمنفعة الذاتية والإهمال، ولا يمكن أن تستوقفنا هنا. أن البنسلين أحد المنتجات التي تنتجها الفطريات، وهذه المنتجات تعرف باسم المضادات الحيوية[36]. ولها تأثيرات قوية ضد الميكروبات. ولعل لهذه الخاصية فائدة للفطريات في الطبيعة لأن الفطريات، والبكتيريا تميل إلى التنافس فيما بينها على نفس النوع من الغذاء.

إن اكتشاف البنسلين وتطويره ونجاحه أدى إلى انفجار في نشاط البحث الذي أجرته صناعة الأدوية وتمت خلاله غربلة الملايين-ونعني الكلمة حرفيا-[37] من الفطريات والأكتينومايسيتات، وحتى البكتيريا والطحالب في سبيل

البحث عن النشاط المضاد للميكروبات. وظهرت بضع عشرات [38] من المضادات الحيوية كان منها نحو ستة لها قيمة حقيقية وهي: الاستربتومايسين Streptomycin والكلورامفينوكول Chloramphenocol ومجموعة التتراسيكلين Tetracycline.[39] وسأحكي عنها اكثر في الفصل السادس. وإنما أشير-في سياق هذا الفصل-إلى أنها مثل السلفا تميل إلى آبقات نمو البكتيريا لا إلى قتلها. وطريقة عملها بالضبط غير مؤكدة، [40] ويبدو واضحا أنها جميعا تعمل بطرق مختلفة. ولدينا مؤشر واضح في حالة البنسلين على أنه يمنع البكتيريا من بناء جدر خلاياها بطريقة صحيحة.

وينبغي هنا أن أبسط القول قليلا في مقاومة العقاقير عند الميكروبات، وقد ناقشتها أولا في الفصل الثاني. تستطيع الميكروبات أن تكيف نفسها ضد المواد كالسلفا والمضادات الحيوية إذا صادفتها بجرعات صغيرة. ولذلك يكون من المهم-عند استخدام هذه العقاقير في الواقع-أن نعطي للمريض جرعة ضخمة قدر ما يتحمل في البداية ثم نبقي هذا المستوى عاليا طوال العلاج. فإذا انتكس المريض أو أصيب بعدوى جديدة بعد علاجه بواحد من هذه العقاقير أصبح من الواجب استخدام عقار مختلف تماما خشية أن تكون ميكروبات العدوى مقاومة للعقار الأول. وقد سبق أن ذكرت الآثار الرهيبة للتهاون في استعمال السلفا لعلاج مرض السيلان أثناء الحرب العالمية الثانية. وهذا هو السبب في أن المضادات الحيوية والسلفا. لا تصرف ولا ينبغي أن تصرف بغير وصفة طبية. [41] ويبدو أن نوع البكتيريا المقاومة للبنسلين، والتي تظهر في العلاج الطبي-مختلفة عن مثيلاتها في المختبر-هي تلك التي تتلف البنسلين. وقد أمكن في السنين الأخيرة بهما سنرى في الفصل السادس) صناعة أنواع من البنسلين مخلفة جزئيا لا تتعرض للبنسلينيزpenicillinase، وهو الإنزيم الذي يتلف البنسلين العادي. وهذه المنتجات الجديدة تؤثر في السلالات الطبيعية المقاومة، وعلى ذلك تراجعت الآن مشكلة المقاومة مؤقتا بوساطة هذه العقاقير لكن المقاومة أصبحت مرة أخرى مشكلة خطيرة بين العقاقير المضادة للملاريا. وقد حل محل الكينين quinine-وهو العلاج التقليدي للملاريا-عقاران صناعيان شاع استعمالهما منذ الحرب العالمية الثانية هما الكلوروكوين Chloroquine والأموديايكوين amodiaquine. وهذان العقاران-على خلاف الكينين-وقائيان

أي أنهما يحميان من الإصابة بالمرض كما أنهما علاجيان، وقد أثبتا نجاحا فائقا خلال عقدين من السنين. ومن سوء الطالع أن ظهرت تقارير في أواسط الستينات من أمكن متباعدة فيما بينها تباعد البرازيل وكولومبيا والملايو وكمبوديا وفيتنام وأشارت إلى عدوى لا تقاوم هذه العقاقير فحسب وإنما تقاوم العقاقير المشابهة لها أيضا. ويبدو أن السبب الأساسي في هذا إنما يعود إلى الإهمال في استعمال العقاقير في التداوي. وقد أصبحت العودة إلى الكينين التقليدي ضرورية الآن في بعض الأماكن إذ إن مقاومة ميكروب الملاريا للكينين نادرة جدا. وقد أصبحت اليوم مقاومة العقاقير من الموضوعات التي يتركز حولها البحث في العلاج الكيماوي.

ولقد قفز العلاج الكيماوي-على الرغم من ذلك-قفزات هائلة في العقود الأخيرة من السنين، فيما يتعلق بعدوى البكتيريا والحيوانات الأولية (البروتوزوا) على الأقل. ويبدو الموضوع-عند النظر إلى الماضي-أشبه بملهاة من الأخطاء. فقد فاتت إرلنج أهمية السالفرسان مدة عامين لأنه كان مهتما بمرض النوم، وكان زميله هاتا Hata هو الذي تحقق من فائدته في علاج الزهري. وتطورت عقاقير السلفا بوصفها أصباغا، ثم كانت ناجحة فيما لم تصنع من أجله. وأثبتت نظرية «التشابه التركيبي» صوابها تماما، ولكنها كانت نافعة حقا إذا استعدنا الماضي. وقد كان البنسلين-أفضل المضادات الحيوية وأول ما اكتشف منها، ومع ذلك كان من أخصب ألوان الملهاة في صناعة الأخطاء في تاريخ الجنس البشري. ولم تفتقر نتيجة العلاج الكيماوي فقط على مناحي التقدم الرائعة حقا في الطب والكيمياء الحيوية والمعارف الكيماوية وإنما تجاوزت ذلك إلى السيطرة إلى حد كبير على أمراض البكتيريا والحيوانات الأولية (البروتوزوا). أن الدرن والالتهاب الرئوي والتيفود والطاعون والجمرة الخبيثة[42] والأمراض التناسلية والكوليرا ونحوها أصبحت كلها قابلة للشفاء عند توفر التشخيص الدقيق والإمكانات، وحتى الجذام «الرهيب» يمكن السيطرة عليه. ولم تعد هذه الأمراض بلايا كما كانت منذ ثلاثين عاما فقط، وإن كانت لا تزال بالتأكيد موجودة في كثير من دول العالم النامية.

والأمراض الفيروسية عدونا اللدود الآن. وبالرغم من أن «الاتجاه المنطقي» ظل بغير جدوى فالحق حتى اليوم أن السلفا والمضادات الحيوية

تعمل بالتدخل في نمو الميكروبات. وفي حالة العدوى تنمو الميكروبات بسرعة، بينما تنمو عوائلها ببطء جدا نسبيا أن كان لها أن تنمو على الإطلاق. ولذلك تؤثر هذه العقاقير على نمو الميكروبات تأثيرا خطيرا-وان كانت تؤثر على العائل والميكروبات معا-وهي بهذا تمكن العائل من الشفاء. أما الفيروسات فتنمو بطريقة مختلفة تماما عن نمو الميكروبات الأخرى. فهي تدخل في خلايا عائلها وتغير من عمليات الأيض في تلك الخلايا. وهي تسبب الخلل في آلية التحكم في مكنة الخلية نفسها بحيث تستخدم أيضها بأسلوب غير سوي. وعلى ذلك تصنع الخلايا مزيدا من الفيروسات بدلا من أن تحسن ترميم نفسها. ويمكن أن نضع هذا الأمر بطريقة أخرى: إن طريقة عمل الخلية تخضع لتركيبها الوراثي ؛ وهذا يعني أن التركيب الكيماوي الدقيق للناسلات فيها genes «يبرمجها» طيلة بقائها. وتتكون الناسلات من مواد تسمى الأحماض النووية nucleis acids، وكذلك تتكون منها الفيروسات بصفة أساسية. إن العدوى بالفيروسات تبرمج الخلايا بحيث تصنع فيروسات اكثر، وبذلك تكون الفرص ضئيلة نوعا في إيجاد علاج كيماوي فعال للأمراض الفيروسية ؛ ذلك بان أي عامل فعال سيتلف الخلية السليمة على قدم المساواة مع الفيروس. ولكن الأمل لم يضع كله، فقد تمت صناعة مشابهات لأحماض نووية كانت فعالة في الواقع ضد الجدري. وقد أنتجت شركة دو بونت دي نيمور Du Pont de Nemours الأمريكية مادة كيماوية ذات تركيب غريب (هيدر وكلوريد الأدمانتيدين Admantidine hydrchloride) [43]وهي فعالة ضد نوع من الأنفلونزا الأسيوية (نوع ا-$_2$ A_2). ويبدو أنها تمنع امتصاص أنسجة العائل للفيروسات. وواضح أنه ما زالت هناك إمكانات للتقدم في هذا الاتجاه. إلا أن الدفاعات الطبيعية هي قلعتنا الرئيسية ضد عدوى الفيروسات P إلا أنها تصبح قلعة هشة متهالكة أثناء شتاء بارد رطب في بريطانيا. وقد عرف العلماء في أوائل الستينات مادة تسمى إنترفيرون interferon تصنعها الخلايا عندما تصيبها عدوى الفيروسات وتتدخل هذه المادة في استقرار الفيروسات في الأنسجة، وما زالت طبيعتها غامضة فيما عدا كونها من البروتينات. وهي ميدان للبحث يدعو للأمل ولكن جدواها العملية قليلة حين أعداد هذا الكتاب. [44]

4 الوقفة الأولى: كيف نتناول الميكروبات

آن الأوان فيما أظن لنذكر شيئا عن كيفية معرفة هذه الأمور كلها. وكثيرا ما ينبئ المؤلف-في كتب كهذه-قراءه بنتائج التقم العلمي، ويرسم صورة عامة للمعرفة الراهنة دون أن يقدم على أية فكرة عن الكيفية التي أنجز بها هذا التقدم، وكيف تم الحصول على المعرفة. وقد تقول أن هذا حسن تماما فأنت بوصفك قارئا عاديا مهيأ لأن تثق في أن كل ما دونته في هذا الكتاب قد بني على تجارب معقولة محققة.

حبذا لو أن الأمر كذلك فالمشكلة في العلم أن جوانبه اليومية غير مؤكدة تماما. وقد يحدث التقدم العظيم الواضح في المعرفة أحيانا، ولكن البحث العلمي وتطبيقاته تتقدم عامة بتجارب شاقة متكررة ؛ غالبا ما تنتهي إلى نتائج سلبية أو لا جدوى منها، ولكن ببطء وعلى المدى الطويل تتضح الصورة آو السلوك الذي يبحثه العالم.. أيا كانا. وليس الكشف العلمي مؤكدا مائة في المائة، ولكن أغلب الملاحظات التي يمكن تطبيقها تتأكد بنسبة تفوق تسعين في المائة. وإذ نعيش اليوم في مجتمع يعتمد في بقائه

على تكنولوجيا بالغة التقدم فقد أصبح من أهم الأمور لعامة الناس أن يقدروا على النظرة الفاحصة لنتائج البحث العلمي أو على الأقل للدعاوى التي يقدمها لهم الصحفيون والعلماء ورجال الإدارة العلمية. ولسوف يدهشني غاية الدهشة مثلا ألا ينقض البحث العلمي الحديث شيئا من المعلومات التي سجلتها في هذا الكتاب قبل نشره. كيف إذن يستطيع الإنسان أن يفرق بين ما يمكن أن يكون علما محققا وبين ما فيه شيء من الشك ؟

إن الإجابة التي تنطبق على العلماء كما تنطبق على عامة الناس هي ضرورة تنمية الحس تجاه الموضوع المعني. وقد يبدو هذا القول غير علمي إلى حد كبير، ولكني لا أعتذر عنه لأنه ليس مجافيا للعلم كما قد يوحي. فإذا عرف الإنسان شيئا عن طريقة إجراء التجارب لاستطاع أن يميز ما هو محقق تماما مما هو مجرد إيحاء. ولما كان العلماء يستخدمون كلا النوعين من التجارب فإن معرفة نوع التجارب التي يبنى عليها موضوع ما تكسب الإنسان مع الزمن نوعا من الفهم الغريزي للمعتقدات الموثوق بها أو التي يتقبلها في شيء من التحفظ أو التي تحتاج إلى التعديل أو الإلغاء في ضوء تجارب المستقبل.

إن الميكروبيولوجيا كلها مبنية على إيمان بان المادة الحية لا تولد نفسها من المادة الميتة: أي أن حساء معقما تماما مثلا لا يمكن أن يفسد لو ظل غير ملوث بالميكروب. وهذا الاعتقاد-الذي لم ينتشر قبوله على نطاق واسع قبل أواخر القرن التاسع عشر-يستند إلى عدد من التجارب البسيطة جدا ؛ تم فيها تعقيم الحساء وتركه معرضا للهواء والدفء في أوعية مصممة بحيث لا تستطيع ميكروبات الهواء دخولها. وقد يمكننا اليوم رؤية أنواع الحساء كان جون تيندال John Tyndall قد جهزها في أواخر القرن التاسع عشر في المعهد الملكي قريبا من بيكاديللي في لندن. ومع ذلك فالمحتمل أن الحياة قد نشأت تلقائيا على هذا الكوكب في زمن مضى كما سنرى في الفصل التاسع. وعلى ذلك لا يعني قولنا إن التولد التلقائي لا يحدث الآن أنه لم يحدث قط. وإنما يعني فقط قبول الاعتقاد بأنه أمر بعيد الاحتمال جدا في أيامنا وعصرنا بحيث يمكن إهماله في أغراض البحث العلمي العادي. [1]

إن المبدأ القائل بان المادة المعقمة-لو أمكن حمايتها بطريقة مناسبة-

ستبقى معقمة إلا إذا أعداها الإنسان مبدأ أساسي في الميكروبيولوجيا. ويحضر الميكروبيولوجيون أنواعا من الحساء المعقم-قد يجعلونه هلامي القوام (كالجيلى) أحيانا، ويمكن أن تنمو فيه الميكروبات، ويعدون الحساء بسلالات وأنواع ميكروبية معينة بحيث تبقى نقية ؛ أعني غير مختلطة بميكروبات أخرى. وهذه تسمى مزارع الميكروبات Cultures of microbes، وهم بين حين وآخر ينقلون بعضا من هذه الميكروبات ويزرعونها في قدر جديد من الحساء أو الجيلي كي يحفظوا السلالات حية متكاثرة. ويختلف تركيب هذا الحساء بين محلول بسيط من كيماويات قليلة وبين حساء يحتوي على مستحضرات اللبن وبين أعقد الأخلاط من الدم واللحم والفيتامين. وقد خصصت مراجع كاملة لتحضير هذه المحاليل. ولن نناقش تفصيلاتها هنا، ولكن هناك مبادئ أساسية معينة تستخدم في تحضير مثل هذه الأنواع من الحساء وهي مبادئ هامة. ودعني أولا أعرف الكلمة «العلمية» «الوسط» medium التي يستخدمها عدد من الميكروبيولوجيين. والوسط بيئة، وهي عادة حساء أو جيلي يمكن أن تنمو فيه أو عليه الميكروبات. وتحتاج أغلب الميكروبات-في سبيل نموها-إلى محلول يحتوي على آثار[2] من المعادن كالحديد والمغنيسيوم والفسفور والصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم ومصدر للنيتروجين، كأحد أملاح النوشادر ونوع من طعام كربوهيدراتي كالسكر مثلا. أن خليطا متوازنا من سماد كيماوي كالذي يستخدم في الحدائق مثلا يهيئ وسطا مناسبا لكثير من البكتيريا. ولو أضيف إليه قليل من السكر ثم تم إعداده بالقليل من التربة ثم وضع في مكان دافئ لنما فيه بسرعة عالم هائل من بكتيريا التربة ؛ أغلبها عصيات صغيرة تسمى سودوموناس Pseudomonas. ولما كانت هذه البكتيريا تستخدم الأكسجين الذائب لأكسدة السكر فأنها سوف تستهلك بسرعة زادها من الهواء المذاب إلا عند سطح السائل. وعلى ذلك تبدأ البكتيريا اللاهوائية مثل الكلوستريديوم Clostridium في النمو في عمق وسط المزرعة. وسرعان ما يجد الإنسان خبثا مزعجا كريه الرائحة، وربما خرجت منه فقاقيع حيث ولدت البكتيريا اللاهوائية ثاني أكسيد الكربون من السكر. وستكون الميكروبات شديدة الاختلاط قليلة النفع لمن يريد أن يعلم شيئا عن أنواع الكائنات الموجودة.

ويستخدم الميكروبيولوجيون طريقتين عامتين للحصول على مزارع نقية مكونة من نوع واحد من الميكروبات وتسمى الطريقة الأولى الزراعة الإخصابية enrichment culture وهي طريقة تستخدم وسطا انتقائيا (أو انتخابيا) selective medium. لنفرض مثلا أننا نريد بعض البكتيريا المثبتة للنتروجين. في هذه الحالة نصنع وسطا سكريا كما وصفنا من قبل ولكنا نستبعد ملح النوشادر. فلوأعدينا المحلول في هذه الأحوال بقليل من التربة فسوف تنمو تلك الميكروبات التي تستخدم النتروجين الجوي فقط، وعلى ذلك تصبح المزرعة غنية بالبكتريا المثبتة للنتروجين. وعندما تبدأ في النمو يصبح بعض النتروجين المثبت ميسورا للميكروبات الأخرى الموجودة في التربة طبعا. فتبدأ هذه في النمو وتصبح المزرعة خليطا من الميكروبات، ولكنها تظل غنية بالبكتيريا المثبتة للنتروجين في البداية على الأقل. ولو كنا نريد الحصول على بكتيريا الكبريت لأبقينا ملح النوشادر في المحلول وأضفنا الكبريت [2] بدل السكر، كما أن إضافة بعض كبريتات الحديدوز[3] بدل السكر يشجع على نمو بكتيريا الحديد. ويستطيع الإنسان أن يغير من حموضة الوسط بدلا من تغيير تركيبه؛ فمحلول السكر ضعيف الحموضة يشجع نمو الخميرة والفطريات اكثر من نمو البكتيريا. وقد يستبعد الإنسان الهواء بطريقة بسيطة باستخدام زجاجة مملوءة حتى الحافة ومتلفة، وبذلك يخصب الوسط بالبكتيريا اللاهوائية (على أن هذه ليست فكرة طيبة جدا عند استخدام وسط سكري لأن ميكروبات الكلوستيزيديا Clostridia غالبا ما تولد غازا وتدفع الغطاء بعيدا). وإضافة قليل من الكبريتات إلى مثل هذا الوسط تزيد عدد البكتيريا المختزلة للكبريت كما أن إضافة النترات تؤثر بكتيريا الزنترة(مزيلة النتروجين)[4] بالنمو. واستخدام الحرارة العالية يختص بالتشجيع الميكروبات محبة الحرارة ة سَخِّن تربتك قبل حقن الوسط بها تجد أن الميكروبات التي تصنع جراثيم تقاوم الحرارة هي وحدها التي تنمو.

ومن الواضح أن إمكانات إخصاب المزارع لا حدود لها، ويستطيع القارئ أن يصنع لنفسه أوساطا مناسبة لمزارع غنية خاصة بالميكروبات التي تستخدم الكحول والمطهرات والمطاط وجلد الأحذية ومواد البلاستك وهكذا.. وليست كل الأوساط الواضحة التركيب نافعة. وعلى ذلك فقد يلاحظ الإنسان

ميكروبات في البيئات الطبيعية لا تستجيب لأية طريقة بسيطة لإخصاب مزارع البكتريا. ولكن المزارع الغنية-بصفة عامة-تمثل الخطوة الرئيسية التي يستخدمها العلماء الباحثون عن مزارع نقية من الميكروبات.

ومع ذلك فعلماء الميكروبيولوجيا الطبية لا يفيدون كثيرا من طرق الزراعة الإحصائية لسبب بسيط وهو أن الإخصاب قد تم من أجلهم. فالمريض المصاب بالعدوى هو أصلا مزرعة خصبة بحيث يقفز علماء الطب مباشرة إلى الخطوة الثانية، الخاصة بعزل سلالة نقية من الميكروبات المخصبة. وعندما يحصل الإنسان على الميكروبات المخصبة ؛ أو بعبارة أخري على مزرعة من الميكروبات أغلبها من النوع الذي يهتم به، فكيف يتسنى له الحصول على الميكروبات نقية ؛ إن أيسر طريقة لتحقيق هذا أن نستخدم وسطا هلاميا وأن ننشر فوق سطحه قطرة صغيرة من المزرعة المخصبة بحيث تنفصل الميكروبات عن بعضها البعض. وعندما نسمح للمزرعة الهلامية بالنمو فان كل ميكروب منفصل يتكاثر ليصنع مستعمرة Colony من الميكروبات المتشابهة، وتأتى تلك المستعمرات المتباعدة من الميكروبات السائدة في المزرعة المخصبة. وعندئذ يكون من اليسير أن نعدى مزرعة جديدة بجزء من تلك المستعمرات النقية وبذلك نحصل على مزرعة نقية من الميكروبات.

هذا هو المبدأ في عملية تسمى زرع الأطباق Plating. ويستعمل الميكروبيولوجيون عادة أطباقا مغطاة تسمى أطباق بتري Petri (وهو اسم أمن اخترعها) تحتوي على أوساط أضيف إليها مادة جيلاتينية مستخلصة من عشب بحري وتسمى هذه المادة أجار Agar. وهم يستعملون أنابيب فيها أجار عند زرع الميكروبات اللاهوائية. [5] أما الطرق الأخرى المستخدمة للحصول على مزارع نقية مثل طريقه التناول الدقيق فهي تعتمد جميعا على جعل الميكروبات المفردة المأخوذة من أعداد كبيرة تصنع مستعمرات من سلالتها متباعدة عن جيرانها.

ولكي تنجح زراعة الميكروبات على الأطباق لا ينبغي أن يكون الوسط مناسبا في تركيبه فحسب، وإنما ينبغي أيضا أن يكون الوسط والأطباق الزجاجية والآلات المستعملة في الزراعة معقمة. وفضلا عن ذلك ينبغي أن تجري العمليات بحيث تقلل من احتمالات التلوث بالميكروبات الهوائية إلى

أدنى حد. ويحتاج هذا الأسلوب المعقم-في لغة الميكروبيولوجيين. aseptic tethniqne-إلى ظروف في العمل خالية من تيارات الهواء، وينبغي أن تعقم الأوساط والرجاجيات المستخدمة قبل استعمالها بحفظها لبعض الوقت في بخار مضغوط أو أفران كهربائية. ولا يستقيم أن نعقم جميع الأوساط بالبخار المضغوط لأن الطهي تحت مثل هذه الظروف قد يحلل مكوناتها ويجعلها غير مناسبة للميكروبات ذوات الاحتياجات الخاصة. ويمكن أن نستخدم-في مثل هذه الحالات-مرشحا دقيقا جدا لاستبعاد الميكروبات الخارجية أو نستخدم أشعة جاما أو الأشعة فوق البنفسجية-ويستخدم التعقيم بأشعة جاما في تزويد الميكروبيولوجيين بأدوات البلاستيك المعقمة لأنها نادرا ما تتحمل درجات الحرارة المطلوبة في التعقيم الحراري. على أن مثل هذه الأدوات زهيدة الثمن وقد تنتج للاستخدام مرة واحدة. والتسخين تحت البخار المضغوط مما يرفع درجة الحرارة عن درجة غليان الماء أو التسخين في الفرن عند درجات الحرارة المرتفعة قد تبدو عمليات جد عنيفة لاستبعاد الميكروبات التي يموت أغلبها عندما تزيد الحرارة عن 50 درجة مئوية. على أن هذه العمليات ضرورية لأن جراثيم بعض الميكروبات- كما رأينا في الفصل الثاني-قد تكون شديدة المقاومة للحرارة. وتحتوي البكتيريا الشائعة المحمولة جوا على أنواع تنتج عن الجراثيم .

تزودنا المزارع المخصبة وعزل المستعمرات البسيط بالمزارع النقية لأغلب الميكروبات التي يمكن أن تنمو على الأوساط الغذائية في المختبر، ولكن بعض الميكروبات لا يمكن استئناسها بهذه السهولة. فبكتيريا ميكوبكتيريوم ليبري Mycobacterium lepraeالتي تسبب الجزام لم يتيسر نموها قط بمعزل عن الأنسجة الحية، كما أن المزارع النقية من الحيوانات وحيدة الخلية (البروتوزوا) كثيرا مات الحصول عليها مشتركة مع البكتيريا الحية التي تتغذى بها هذه الحيوانات. ومن أشد الميكروبات عنادا في هذا الصدد الفيروسات التي يلزم زرعها في الأنسجة الحية. ويمكن فصلها بسهولة تامة من البكتيريا والميكروبات الأخرى ؛ ذلك بان مرشحا ذا ثقوب مناسبة الدقة يسمح للفيروسات بالنفاذ من خلاله، ولكنه يحتجز الميكروبات الأكبر حجما. ولكن الفيروسات-بمجرد مرورها من المرشح-يجب تزويدها بعائل حي لتتكاثر فيه. وكثر العوائل استخداما هي مزارع الأنسجة[6] وبيض

الدجاج الملقح أو مزارع البكتيريا.

وتكون العوائل من الحيوانات ضرورية في بعض الأحيان، كما أن المتطوعين من الناس هم أفضل الوسائل لزراعتها في حالة واحدة على الأقل هي فيروسات البرد العادي (الزكام) (انظر الفصل الثالث) ويعتمد فصل سلالات نقية من مثل هذه الفيروسات أساسا على تخفيف الأعداد المخصبة بحيث يبقى عدد قليل من الوحدات المعدية يمكن اعتبارها مشابهة للسلالة السائدة. أما في حالة الفيروسات ذوات الاحتياجات المعقدة فقد يصعب عزلها تماما. والواقع أننا على يقين من أن هناك فيروسات اكثر بمراحل من التي تم زرعها في المختبر.

وتمثل حالة الفيروسات جانبا متطرفا لسؤال يصدق على الميكروبيولوجيا بصفة عامة: إلى أي حد يمكن أن نثق بان سلوك الميكروبات التي نزرعها في المختبر ويشابه سلوكها في الطبيعة ؟ الإجابة هي أننا لا نستطيع أن نتيقن من ذلك. لقد كان من عادة الأستاذ كلويفر Kluyver المتوفي-وهو عالم هولندي شهير في الميكروبيولوجيا-أن يحتج بقوله إن كل مزارع البكتيريا هي «مصنوعات معملية» أي أنها سلالات تغيرت صفاتها نتيجة لتكيفها، كي تنمو في أوساط المزارع المعملية. وقد كان مصيبا بلا شك. فالميكروبات-كما رأينا في الفصل الثاني-لديها خصائص مدهشة في التكيف، وعلى الميكروبيولوجي أن يتحفظ دائما ويعلم أن سلوك الميكروبات في معمله قد يخدعه تماما فيما يتعلق بسلكها في بيئتها الطبيعية. والمثل البسيط هو مثل بكتيريا التيفود (أو سالمونيلا تايفاي Salmonella typhi) وهي تحتاج دائما إلى الريبتوفان tryptophan، وهو حمض أميني من أجل النمو وذلك فور عزلها من مريض بالتيفود. وهي تفقد هذه الصفة بسهولة في المختبر-والظاهر أنها تتعلم صنع الريبتوفان الخاص بها بسهولة فائقة-وتكاد تكون الطريقة الوحيدة كي نجعلها تستعيد حاجتها إلى التريبتونان هي أن نعدى بها حيوانا من حيوانات التجارب ثم نعزلها من جديد.

وللسؤال المذكور سابقا أهمية خاصة في الميكروبيولوجيا الطبية بإعتبار أن الميكروبات تسبب الأمراض. هل الميكروب الذي نحصل عليه من مريض هو السبب الحقيقي في المرض ؟ هناك في بعض الحالات قدر قليل من الشك في ذلك ؛ فالبكتيريا التي نحصل عليها من الدم-وهو عادة خال من

الجراثيم-يمكن اعتبارها بحق سببا للتسمم، ولكن هناك في اضطرابات الفم مثلا عددا كبيرا من الميكروبات موجودة من قبل بحيث يصبح من العسير التأكد من أيها يسبب التلف، اللهم إلا عند وجود ميكروب غير عادي تماما. وليس هناك في الواقع حتى الآن اتفاق عام على أنواع الميكروبات في الفم التي تسبب تسوس الأسنان [7]. وقد بلور الدكتور روبرت كوخ Robert Koch من برلين-وهو من أوائل البكتيريولوجيين-هذه الحرة في صيغة شروط عرفت باسم فروض كوخ: فالميكروب يمكن أن يعتبر سببا للمرض (1) لو وجد في أعداد غير عادية حيثما وحينما يكون المرض نشطا، (2) وعندما يمكن عزل الميكروب من المريض (3) وعندما يسبب الميكروب المرض عند حقنه في إنسان سليم. وليس من اليسير اختبار هذه الشروط في الواقع العملي لأسباب واضحة ولكن على أن العالم يمكن أن يضل ضلالا بعيدا إن هو لم يتمسك بها. والبرد العادي (الزكام) الذي نعلم اليوم انه مرض فيروس يتسبب في إفرازات تشجع على نمو كل أنماط البكتيريا. وبعض هذه البكتيريا لا ضرر منه والبعض مهيج. وكان المظنون في السنوات الأولى من هذا القرن أن هذه البكتيريا هي سبب النزلات البردية، ولكن المعروف الآن أنها عدوى بكتيرية ثانوية نجمت عن العدوى الفيروسية الأولية. ولسبب الاضطرابات الهضمية تغيرات كبيرة في بيئة الميكروبات المعوية وغالبا ما تكون هذه التغيرات نتيجة للمرض لا سببا له. وتنطبق فروض كوخ على مجمل الميكروبيولوجيا لا تقتصر بحال على جوانبها الطبيعة. وسوف نبحث في الفصل السابع تآكل الأحجار وهي ظاهرة يمكن أن تحدث بالتأكيد بوساطة بكتيريا الكبريت، ولكن ليس لها غالبا علاقة بها. ومن المؤسف أن تصبح فروض كوخ طي النسيان في بعض الأحيان، وحتى أولئك الذين هم في أفضل وضع للإفادة منها ينسونها.

وأول ما نفعله بعد حصولنا على مزرعة نقية من الميكروبات هو أن نفحصها. هل تبدو الميكروبات على هيئة عصيات أو تبدو كروية أو ملتوية أو على هيئة ضمات واوية ؟ هل هي متحركة؟ هل هي تنتظم في سلاسل أو عناقيد ؟ وهل هي خيطية ؟ وهل تنتج جراثيم؟ وهل لها تركيب داخلي كالحبيبات والنواة ؟ ويمكن أن يجري الإنسان اختبارات مزرعية: هل تنمو الميكروبات في اللبن أو الحساء أو محلول بسيط من السكر وخليط الأملاح

؟ هل تنتج غازا أو حمضا أو كليهما ؟ وكيف تبدو مستعمرات الميكروبات على الأوساط الهلامية ؟ وقد ابتكر كريستيان جرام christian Gram اختبارا هاما في عام 1884 يعتمد على قتل الميكروبات وصبغها ومعالجتها بعد ذلك باليود ثم النظر فيما لو احتفظت بالصبغة أو فقدتها عند غسلها بالأسيتون أو الكحول. ومازال هذا الاختبار-اختبار جرام-قيما جدا في تقسيم البكتيريا إلى قسمين كبيرين يتقابلان في خصائص عديدة أخرى-بنوع من الاتفاق لا يزال غير مفهوم تماما-فالبكتيريا الموجبة لجرام لGram positive-وهي تلك التي تحتفظ بالصبغة-تكون حساسة بنوع خاص لعقاقير مثل البنسلين والسلفا ولها خصائص فسيولوجية أخرى مشتركة. أن الاختبارات التي تعتمد على الشكل والزرع وتفاعلات الصبغ مع الاستعانة بما نشر من إرشادات ومفاتيح التعرف تقدم لنا بعض المعلومات عن طبيعة الميكروب. ويستطيع الميكروبيولوجي-إذا أراد-أن يتبع هذه المفاتيح بمزيد من الاختبارات تشمل تلك الخاصة بالأمصال المضادة، ويتعرف على الميكروبات تماما. (انظر الفصل الثالث). ولكنني يجب أن أؤكد شيئا من الارتياب سبق ذكره من قبل: فلو كان الميكروب شهيرا هاما مثل ميكروب السالمونيلا لأمكن التعرف عليه بدقة بالغة، ولكنه لو كان واحدا من عصيات البكتريا العديدة المتنوعة التي تعيش في التربة مثلا لكان الأرجح أن يكون التعرف عليه غامضا نوعا[8].

وقد ينتج الميكروب في بعض الأحيان شيئا نافعا، فيصنع مضادا حيويا أو فيتامينا أو مادة كيماوية أخرى، وقد يرغب العالم في استنبات كميات كبيرة من هذا الميكروب. أن زراعة الميكروبات على نطاق ضخم للإنتاج تسمى «التخمير». وهي تسمية خاطئة لأن المعنى الدقيق للتخمير هو تحولات المواد نتيجة نمو الميكروبات في غياب الهواء، والمثل الكلاسيكي تخمير السكر إلى الكحول بوساطة أنواع الخميرة yeasts. ولكن علماء الميكروبيولوجيا الصناعية اليوم يعتبرون أية عملية لزرع الميكروبات على نطاق واسع-في وجود الهواء أو غيابه-عملية تخمير. وكل عمليات التخمير هي من ناحية المبدأ عمليات زرع للميكروبات في المعمل وإنما على نطاق واسع، ولكن الحديث عن هذا الأمر أيسر من تطبيقه. إن المشكلات الهندسية في تناول كميات كبيرة من سوائل الزرع واحتوائها وتعقيمها وحضانتها واستنباتها

واستخلاص المحاصيل منها بلغت من الضخامة حدا أدى إلى ظهور تكنولوجيا شاملة خاصة بها تسمى هندسة الكيمياء الحيوية biochemical engineering، وحتى عملية إمداد بضعة آلاف من جالونات المزارع الميكروبية بالهواء إنما هي مشكلة هندسية اكثر صعوبة مما تبدو، إذ تميل الميكروبات إلى استهلاك الأكسجين بأسرع من طاقة المهندسين في تذويبه في المحاليل الغذائية. لقد تطورت هندسة الكيمياء الحيوية في الواقع إلى تخصص متميز خلال العقدين الأخيرين فقط، وقد تم ذلك إلى حد كبير نتيجة للتوسع في الميكروبيولوجيا الصناعية الذي ترتب على صناعة المضادات الحيوية، ولكننا لا نملك هنا سوى الإشارة إليها، وإنما علينا أن نذكر مفهوما هاما متفقا عليه بين مهندسي الكيمياء الحيوية أعني: الزراعة المستمرة.

ولنفرض أنك من رجال الصناعة تنتج الخميرة المستخدمة في صناعة الخبيز. فينبغي عليك حسب الطرق التقليدية أن تحتفظ بمستودع لخزن مزرعة الخميرة ثم تستنبت منها مزرعة لقاحية كبيرة ثم تهيئ. آلافا مؤلفة من الجالونات من وسط الاستنبات قدر ما يتحمل مستودع التخمير[9]، وتعقمها وتحقنها بالمزرعة اللقاحين وتنتظر نمو الخميرة ثم تحصد المحصول. وعليك بعدئذ أن تنظف المستودعات وتبدأ من جديد. ألا يكون من الأفضل كثيرا لو ظلت المزرعة في حالة نمو مستمر؟! أن هذا ما يحدث في الزراعة المستمرة: فهناك مستودع للتخمير مصمم بحيث يطف منه السائل ويضخ فيه الوسط المعقم بسرعة أبطأ من المعدل الأقصى نمو الميكروبات. فإذا ما هيئت المزرعة ظلت تفيض في وعاء للجمع. ومن ثم يمكن حصر النتاج بصورة مستمرة. أي أن الميكروبات تنمو بنفس السرعة التي تتغذى بها، إن صح هذا التعبير. ومزية هذه الطريقة تكمن في أن عملية الإنتاج يمكن أن يتمكن automated فالمصنع يعمل ليل نهار، وفرص تلوث المزرعة هنا اقل من فرصه لو اتبعت الطرق التقليدية. أما الاعتراض الرئيسي على استخدام الصناعة لها على نطاق واسع فهو اعتراض معهود وهو أن صناعات التخمير استثمرت قدرا كبيرا من رأس المال في التخمر التقليدي، وهي بالطبع تكره إعدام أجهزته الغالية حين يمكن الاستمرار في استعمالها.

وللزراعة المستمرة قيمة عظيمة في البحث أيضا. فإذا كانت الميكروبات تنمو بالسرعة التي تتغذى بها، أمكن أن تختار من بين المواد الغذائية المتاحة

للميكروبات مادة تحدد النمو. وإذا استنبت الإنسان مزرعة من الميكروبات في وسط بسيط من السكر والأملاح استطاع أن ينظم الأمور بحيث تستهلك البكتريا كل ما هو متاح من السكر، وذكر بحفظ تركيز السكر منخفضا مع وجود وفرة من الأملاح. وعلى ذلك يصبح تركيز السكر في المحلول هو الذي يحدد تركيز البكتريا في المزرعة. ويقال عن السكر في اصطلاح الميكروبيولوجيين أنه يحدد نمو الميكروبات.-ولو أن الإنسان استنبت بكتيريا مشابهة في وسط في وسط كثير السكر ولكنه محدود المدد من النوشادر لحصل على ميكروبات يحدد نموها النوشادر، ولتبين الإنسان أن هذه الميكروبات مختلفة عن غيرها من نواح عديدة. فهي غنية بالمواد الكربوهيدراتية وقوية فهي لا تموت بسهولة، وقد تغير توازن الأنزيمات فيها وكذلك تركيبها الكيماوي. ويستطيع الإنسان تغيير الكيمياء الحيوية للميكروبات إلى حدود مدهشة وذلك باختيار العناصر الغذائية المختلفة التي تحدد نمو الميكروبات. أن هذا يهيئ للميكروبيولوجيين تحكما تجريبا في الميكروبات يعد فريدا في البيولوجيا، وما زال يقدم معرفة أساسية قيمة. وتفيد الزراعة المستثمرة من حقيقة أن الميكروبات تحتاج إلى مواد غذائية معينة لتتكاثر وان في الإمكان التحكم في نموها يتعدى إمدادها بهذه المواد الغذائية. وتحتاج ميكروبات عديدة إلى مواد غذائية شديدة التعقيد مثل الأحماض الأمينية أو الفيتيامينات. وكثيرا ما يشق على الكيماويين المحللين تحليل الأحماض والفيتامينات في المواد الغذائية والمواد الأخرى. أما الميكربيولوجيون فقد استخدموا الميكروبات لهذا النوع من التحليل في فلو كان لدى الإنسان مادة تحتوى على فيتامين ب 12 مثلا وأراد الإنسان أن يعلم كم تحتوي من هذه المادة، فان من أبسط الطرق أن يضيف الإنسان قليلا من فيتامين ب 12 إلى مزرعة من الميكروبات التي تحتاج إليه ويرى إلى أي مدى يتحسن النمو. وتسمى هذه العملية «التقدير الميكروبيولوجي» microbiological assay، وهي الطريقة الوحيدة للتقدير الكمي لبعض الفيتامينات. وقد كان التقدير الميكروبيولوجي سبب اكتشاف غير متوقع وهو أن المجاري من أغنى المصادر المتاحة لفيتامين ب 12. وللحيوانات الأولية (البروتوزوا) أهمية خاصة في تقدير فيتامين ب 12. كما اقترح البعض استخدام هذه الكائنات كوسائل غربلة لاختبار المواد التي تسبب

السرطان. وقد كانت الأحماض الأمينية منذ عقد من الزمان تقدر كميا بوساطة الميكروبات ولكن التحليل الطيفي قد تقدم اليوم إلى حد بعيد بحيث أصبحت الطرق الميكروبيولجية لتقدير الأحماض الأمينية بالية.

تموت الميكروبات كسائر الكائنات الحية جميعا. ولذلك ينبغي تجديد زراعتها باستمرار حتى تبقى السلالات حية. وربما كان هذا أمرا شاقا لو كان لدى الإنسان مجموعة كبيرة من الميكروبات. إلا أن هناك طريقتين يمكن بوساطتهما الاحتفاظ بالميكروبات دون إعادة الزرع وهما التجميد العميق والتجفيف بالتجميد. وينبغي إجراء العمليتين بطرق خاصة، ولكنهما لو تمتا بالطريقة الصحيحة لأصبحت الميكروبات في حالة حياة معلقة وأمكن خزنها لفترات طويلة جدا.

وفي سبيل التجميد العميق لمزرعة من البكتريا الحية مثلا تجعل الميكروبات معلقة في محاليل قوية من الجليسرول (10- 20 في المائة)، كما أن عددا من المركبات الأخرى في قسم يسميه الكيماويون «غير مستقطب» صالح أيضا. وتظل جميع البكتيريا تقريبا حية عند تجميد مثل هذا المعلق suspension بينما لو جمدت في وسط عادي لماتت جميعها. وتموت البكتيريا ببطء شديد لو تم خزنها في درجات حرارة منخفضة حقا، مثلا عند 70 درجة مئوية، بل والأفضل عند 200 درجة مئوية. وهي من هذا الجانب تشبه الأنسجة وخلايا الدم التي يمكن تخزينها باردة في الجليسرول في «مصارف» لاستخدامها في الجراحة ونقل الدم، ولكن في حاله الميكروبات الحية يمكن حفظ الكائن ككل على هذا النحو. ولا تستجيب الحيوانات الأولية (البروتوزوا) بصورة حسنة لمثل هذا التخزين. ولعل السبب يرجع إلى تركيبها الداخلي الأكثر تعقيدا من البكتيريا.

ويحمي البروتين مثل بياض البيض أو مصل الدم أيضا البكتيريا من التلف أثناء التجميد،و كذلك تفعل السكريات. وإذا علق الإنسان البكتريا في مزيج من المصل وسكر الجلوكوز فانه لا يستطيع تجميدها بدون تلف فحسب ولكنه يستطيع أيضا أن يجففها شريطة إلا تذوب المادة أثناء عملية التجفيف. أما الثلج في المزيج المتجمد فينبغي أن يتسامى تحت تفريغ عال[10]. وهذه العملية المعروفة باسم التجفيف بالتجميد نافعة جدا لأن المزارع بعد جفافها لا تحتاج إلى وضعها في الثلاجة. وهي تستخدم في

حفظ مجموعات المزارع مثل المجموعة القومية للبكتيريا الصناعية الذي سبقت الإشارة إليها في بداية الفصل الثاني.

ولو طلب أصبحت مزرعة بكتيريا من مثل هذه المجموعة لتلقى أمبولة صغيرة بها القليل من مزيج مجفف من السكر والمصل فيه الميكروبات الكامنة، وتنتعش هذه الميكروبات وتتكاثر عند نقلها إلى وسط سائل مناسب معقم. لقد شاعت طريقة التجفيف بالتجميد على نطاق واسع منذ 16 عاما[11].

وإذا كان المعروف أن بعض الميكروبات تموت بعد سنين عديدة حتى بعد تجفيفها بالتجميد فان ميكروبات أخرى ما زالت حية منذ تجفيفها عام 1950 (وربما كان الأنسب أن الهول قادرة على استئناف الحياة حتى لا استشير السؤال عما إذا كانت الميكروبات المجففة بالتجميد حية حقا !). قد يود الميكروبيولوجيون ورجال الصناعة والباحثون الحفاظ على ميكروباتهم حية، ولكن المشكلة هي نقيض ذلك في كثير من ظروف الحياة اليومية: كيف نقتلها.

لقد أشرت إلى التعقيم في ثنايا هذا الفصل فكيف يعقم أصبحت شيئا ؟ لقد ذكرت التسخين تحت الضغط وفي الأفران، وألمحت إلى الترشيح وإشعاع جاما، ولكن تطبيق هذه الأمور محدود من الناحية العامة. والتطهير مشكلة خطيرة حقا في الصحة العامة وغالبا ما تتم بغير كفاءة، ومن أجل ذلك سأراجع هذا الموضوع هنا باختصار.

وسوف أعيد شرح العمليات التي سبق ذكرها في سبيل الاستيفاء:

التسخين تحت الضغط: Pressure Cooking

يتم تعقيم الآلات وأوساط المزارع والمواد الملوثة بالعدوى في المستشفيات والمختبرات وذلك بوضعها في «غلايات» كبيرة مملوءة بالبخار تحت الضغط. بحيث تصل درجة حرارة المحتويات جميعا إلى 120 درجة مئوية مدة 15 دقيقة. وهي فترة كافية تبلغ الحرارة فيها درجة كافية لقتل أشد الجراثيم مقاومة للحرارة. ولكن علينا أن نتذكر أن الجزء الأوسط من كومة بطاطين أو حجم كبير من السائل يحتاج إلى زمن طويل حف يبلغ درجة حرارة البخار.

التبخير: Steaming

كل الميكروبات الخضرية vegetative-أعني الميكروبات التي لم تصنع جراثيم بعد-يقتلها البخار وعلى ذلك نجد أن الإنسان إذا عرض المادة للبخار وانتظر حتى تنبت الجراثيم ثم عالجها بالبخار مرة أخرى فان الفرص تصبح ضئيلة في بقاء الجراثيم حية. وتستخدم هذه الطريقة في تعقيم الأوساط الرقيقة التي لا تتحمل الطهي تحت الضغط، ويقوم الإنسان بالمعالجة بالبخار ثلاث مرات في العادة للاحتياط.

الغلي: Boiling

هذه طريقة أولية وسهلة لتعقيم الأدوات. وتستخدم أحيانا في تعقيم آلات الأسنان والآلات الجراحية. وربما كانت أيسر الطرق العملية في الطوارئ المنزلية.

البسترة pasteurization

يمكن أن يتلف اللبن وبعض الأطعمة الأخرى نتيجة المعالجة بالبخار بمعنى أن طعمها يتأثر. ولو أننا سخناها فترة قصيرة إلى درجة 70 مئوية تقريبا لماتت كل الميكروبات الخضرية تقريبا وبقيت الجراثيم فقط. وعلى ذلك تبقى الأطعمة صالحة فترة أطول مما لو كانت بغير بسترة وان كانت غير معقمة. وغالبا ما تتم حماية البيرة والأجبان واللبن بهذه الطريقة، ولا تكون هذه المنتجات معقمة.

المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet irradiation

ذكرت في الفصل الثالث التأثير القاتل لضوء الشمس على الميكروبات التي يحملها الهواء. وتقع انشط موجات الضوء في مجال الموجات القصيرة للأشعة فوق البنفسجية حوالي 260 مللي ميكرون [12] ويمكن أن يعقم الإنسان الأشياء الشفافة بالأشعة من مصباح الأشعة فوق البنفسجية.

ويمكن بهذه الطريقة تعقيم الهواء في غرف العمليات الجراحية ومصانع تعبئة الزجاجات في صناعة الأدوية، ولكن الإشعاع يؤذي جلد الإنسان والعيون بصفة خاصة.

المعالجة بأشعة جاما: Yirradiation

هذه الأشعة تقتل الميكروبات وكذلك كل شيء حي آخر، وان كانت توجد أنواع شديدة المقاومة مثل ميكروكوكس راديو ديورانز Micrococcus radiodurans ويمكن استخدام مثل هذا الإشعاع في تعقيم المواد المعتمة والتي تتأثر بالحرارة مثل الأدوات الإلكترونية كما تستخدم هذه الطريقة في تعقيم بعض الأدوات المستخدمة في الأبحاث مثل أطباق بتري المصنوعة من البلاستيك والتي سبق ذكرها. ولهذه الطريقة مجالات في صناعة الأطعمة، كما تم استخدامها في معالجة أجزاء سفن الفضاء لتفادي التلوث بين الكواكب.

الترشيح: Filtration

توجد مرشحات دقيقة جدا تعقم السوائل بتنقيتها من الميكروبات. ويندر استخدامها خارج المختبرات إلا في تحضير الأمصال للحقن.

التعقيم الكيماوي: Chemical sterilization

نأتي هنا إلى الطريقة الرئيسة في الأغراض المنزلية. أن المطهرات مثل الفينول phenol (حمض الكاربوليك[13]) ومشتقاته التجارية العديدة إنما هي ببساطة سموم اكثر سمية للميكروبات منها للناس والحيوانات. والكلور مطهر طيب يستخدم في مصادر المياه المنزلية، وهو يقتل معظم الميكروبات.

التعقيم الكيماوي: Chemical Sterilization

نأتي هنا إلى الطريقة الرئيسية في الأغراض المنزلية. إن المطهرات مثل الفينول Phenol(حمض الكاربوليك)[13] ومشتقاته التجارية العديدة إنما هي ببساطة سموم اكثر سمية للميكروبات منها للناس والحيوانات. والكلور مطهر طيب يستخدم في مصادر المياه المنزلية، وهو يقتل معظم الميكروبات الملوثة للمياه. وان كنا لا نستطع استخدامه بتركيز يعقم مياه الشرب تعقيما تاما. كما يستخدم الكلور في المسابح لمنع العدوى العرضية في ظروف الازدحام. وهو نافع في منع انتقال العدوى بين البالغين والأطفال المعتمدين على الرضاعة الصناعية. ومع ذلك ينبغي استخدامه هذا الغاز بحكمة:

فقد شاهدت أما تعقم زجاجات الرضاع بمنتهى الحرص بوساطة سائل «ملتون Milton»[14] وتعرض الوجبة لعملية البسترة وبعدئذ تلمس البزازة بيديها أو شفتيها في اللحظة الأخيرة لتحس إن كانت الحرارة مناسبة ! وعلى ذلك تعيد زراعة البيئات الميكروبية الموجودة على جلدها أو فمها في غذاء طفلها. ويجب أن تكون القاعدة: اقطر من الزجاجة ما شئت ولكن لا تلمس شيئا.

ومركبات الفينول حسنة كقاتلة عامة للميكروبات وهي في العادة مأمونة عند استخدامها في مسح الأرضيات والجدران ولكنها سموم قوية تماما ويجب حفظها بعيدا عن الجلد والطعام. وهي لا «تقتل» الروائح كما يعتقد كثيرون من الناس. وقد نشا هذا الاعتقاد لأن لها بذاتها رائحة قوية، وهي عندما تقتل البكتيريا المسئولة فإنها بالطبع قد تقضي على رائحة التعفن. وأنواع الصابون والمنظفات مطهرات طيبة بدرجة متوسطة، وهناك قسم من المنظفات وهي المنظفات الكاتيونية[15] أو الرباعية Cationic or quaternary التي تكون رائعة عند استخدامها للجلد. وهي أساس كثير من الدهانات التجارية (الكريم). كما أن المساحيق المطهرة هي الأساس في الدهانات والمساحيق المزيلة لرائحة العرق كما رأينا في الفصل الثالث، فهي تقتل الميكروبات التي تخمر العرق وتسبب الرائحة الكريهة.

ولمواد كيميائية معينة بسيطة التركيب مثل أملاح النحاس بعض الآثار المطهرة، وهي تستخدم في علاج الأمراض الزراعية (مثل مزيج بوردو Bordeaux)[16]، وهي سامة إلى حد ما.

وتحتاج المطهرات إلى زمن حتى تفعل فعلها. فليس من الجائز مثلا أن نصب حمض الكربوليك في بالوعة تصدر منها الرائحة ثم نغسلها فور ذلك. ومن التبذير كذلك أن نضع الكلور في المرحاض ثم نشد «السيفون» فورا، ذلك لان المطهرات سموم انتقائية ونادرا ما تعمل توا. ويبدو أن المنظفات الرباعية تشد عن هذه القاعدة من حيث أنها تعمل على الفور إن كان لها أن تعمل. ولكن من الحكمة بصفة عامة عند استخدام المطهر الكيماوي أن نعرض المادة المعالجة للمطهر أطول فترة معقولة. وتعمل المطهرات الكيماوية-فضلا عن ذلك-بالتفاعل كيماويا مع الميكروبات الحية، ولذلك لو كان هناك قدر كبير من المواد تتفاعل مع المطهرات لبقي من هذه

المطهرات نصيب أقل متاح لقتل الميكروبات. ويحتاج الإنسان إلى كميات أكبر بكثير من الفينول لقتل عشرة ملايين من البكتيريا في التربة عما يحتاج إليه لقتل العدد نفسه من البكتريا في الماء. والسبب ببساطة هو أن كثيرا من الفينول يتفاعل مع جسيمات التربة وبصبح متعادلا فيما يتعلق به بأثره ضد الميكروبات. أو لنعد إلى مثلنا المنزلي السابق تقول إن زجاجة الطفل الملوثة برواسب اللبن تحتاج إلى قدر من سائل ملتون اكبر مما تحتاج إليه الزجاجة النظيفة من أجل تعقيمها، ذلك بان الكلور يتفاعل مع المواد الصلبة في اللبن بنفس القدر من السهولة كما يتفاعل مع الميكروبات. وذاك هو السبب في إصرار عيادات الأطفال على استخدام طريقة ملتون في الزجاجات النظيفة فقط.

وتختلف المطهرات اختلافا مبدئيا عن المضادات الحيوية والعقاقير التي سبق أن ناقشناها في الفصل الثالث. فالمطهرات سموم بيولوجية عامة-وهي كما رأينا من قبل-تقتل الميكروبات بكفاءة اكبر من قتل الكائنات العليا. فهي-على حد تعبير الميكروبيولوجيين-مبيدات ميكروبية microbicides (وهي كلمة شبيهة بالمبيدات الحشرية)، على حين أن كثيرا من العقاقير والمضادات الحيوية لا تقتل الميكروبات على الإطلاق وإنما توقف تكاثرها فحسب. [17] وإذا كان التطهير عنصرا هاما ضروريا في الصحة اليومية للمجتمعات المتحضرة فمن المهم ألا يصاب الإنسان بالوسواس المتسلطة. فنحن في حاجة إلى شيء من التعرض للعدوى حتى نبني أية مقاومة للمرض كما بينت في الفصل الثالث. وربما كانت الأم التي مست بزازة الطفل بشفتيها أحكم منا نحن الذين نرفع أيدينا في فزع عند ذكر هذه الفكرة ! والإجابة أنها لم تكن كذلك طبعا ؟ لأنها فعلت فعلتها جهلا، ولعلها كانت مصابة بالتهاب اللثة مثلا. أن الحكمة هي أن يعرف الإنسان ما يعمله ولماذا يعمله. وقد يتيسر للإنسان التعايش مع الميكروبات إذا كان يدرك ما هو فاعل، أما أن يعالج هذا الأمر بجهالة فذاك صب البلاء. وقد تسال أين سمعت هذا من قبل ؟ إنه يصدق على القنابل الذرية كما يصدق تماما على الميكروبات. دعنا-من أجل ذلك-نتذكر أن العلماء بينما هم يعلمون عن موضوعه لهم اكثر مما يعلم السياسيون وربات البيوت فقد أيقنوا-مع علمهم-مدى جهلهم العظيم في الحقيقة. لقد تقدم العلم في القرن الحاضر تقدما

مذهلا، ومع ذلك فإن كل معلومة من معارفنا تعلمنا أنه ما زال علينا أن نتعلم الأكثر فالأكثر.

5 الميكروبات في التغذية

قل من الناس من يجهل-أن أنواع البيرة والنبيذ والجن ونحوها يتم تحضيرها بالسماح للميكروبات بالتأثير في مواد غذائية. أما الذين يجهلون أن فساد الطعام سببه نشاط الميكروبات فهم . أدنى من م أولئك عددا. ولكن هذين الوجهين من نشاط الميكروبات يمثلان نسبيا جوانب أقل أهمية في ميدان التغذية الإنسانية والحيوانية جميعا. وسأتناول في هذا الفصل بالطبع تحضير الطعام، أما فساده فسيأتي شرحه في الفصل السابع. ودعني أبدا بتمثيل الطعام، ولعله أهم المراحل في التغذية.

إن التمثيل-من الناحية الفنية-هو العملية التي نعقب الهضم. وحالما تآكل الطعام، تقوم الإنزيمات الهاضمة في الفم والمعدة والأمعاء بتنقيته إلى جزيئات كيماوية اصغر يستطيع الكائن أن يمتصها في تيار الدم ويستخدمها من اجل أغراضه الكيماوية الحيوية. فالمواد الكربوهيدراتية تتفتت إلى سكاكر والبروتينات إلى أحماض أمينية أما الدهون فبعضها يتفتت وبعضها يتحول إلى مستحلب. وبعض عناصر الطعام-كالألياف الخشبية فلا-لا يسهل تفتيتها بوساطة الإنزيمات الهاضمة،

وهنا تلعب الميكروبات دورها. إن الثدييات المجترة كالأغنام والأبقار لها معدة أولية حيث تتخمر-بهدوء-الحشائش التي توشك أن تكون طعامها الوحيد. والمعدة الأولية نوع من المزرعة المستمرة للميكروبات اللاهوائية التي تشمل الحيوانات الأولية (البروترزوا) والبكتيريا، وهي جميعا تخمر النشا والسيليولوز في الحشائش وتنتج الأحماض الدهنية وغاز الميثان وثاني أكسيد الكربون. كما أن عصارة المعدة الأولية غنية جدا بالميكروبات. ومن المألوف أن يبلغ عددها عشرة بلايين (البليون = ألف مليون) في السنتيمتر، وهي نشيطة جدا. وتصنع البقرة العادية نحوا من 150- 200 لتر من الغاز في اليوم، أما البقرة الضخمة الجيدة التغذية الحلوب فهي مصنع متحرك للغازات تنتج 500 لتر يوميا. ومن العسير تماما زراعة بعض الميكروبات في المختبر لأنها شديدة الحساسية للهواء. والمعدة الأولية-مع كل هذه الغازات-لا هوائية تماما. ويخفف لعاب الحيوان، وماء الحشائش المأكولة هذه المزرعة من الميكروبات بمعدل ثابت، وعلى هذا يتم استبدال وتجديد محتوى المعدة الأولية النمطية في الأغنام مرة واحدة كل يوم. وعلى ذلك فالخليط الذي يترك المعدة الأولية يحتوي بصفة أساسية على بكتيريا وأحماض دهنية وغازات وقليل من جزيئات الطعام غير المتخمرة. ويوشك تمثيل الحيوان أن يقتصر على الأحماض الدهنية وبقايا الميكروبات الميتة. ولما كانت الأحماض الدهنية تعادل المواد الكربوهيدراتية فالميكروبات هي التي تزود الحيوان كذلك بالفيتامينات والأحماض الأمينية اللازمة لنموه. وتساعد في هذا المجال البكتيريا المختزلة للكبريتات-وهي موجودة أيضا في المعدة الأولية-عندما تنتج الكبريتيد من أية كبريتات يتناولها الحيوان مع الحشائش. ويبدو أن الأغنام تستطيع استخدام هذا الكبريتيد في إنتاج بعض البروتين في أجسامها وبنفس الأسلوب تعتمد الحشرات التي تأكل الخشب-كالنمل الأبيض-على البكتيريا المحللة للسيليولوز في تحليل الخشب في أمعائها إلى مواد تستطيع أن تتمثلها[1]. وثم مثل ميكروبيولوجي طريف لهذا الاعتماد الغذائي المتبادل في حيوان أولي (بروتوزون) يسمى كرايثيديا أونكوبلتي Crithidia oncopelti. ففي داخل الخلية الوحيدة لهذا الميكروب في البروتوبلازم بكتيريا متكافلة Symbiotic يبدو أنها تزود عائلها بحمض أميني يحتاج إليه في النمو هو اللايسين Lysine. هذه البكتيريا حساسة للبنسلين

أما الحيوان الأولي فلا. ولو أن كرايثيديا أونكوبلتي حررت من البكتيريا فيها بوساطة البنسلين-أي لو أنها شفيت من عدواها إن مح التعبير-لماتت ما لم تزود باللايسين.

ومن الواضح أن الاعتماد في التغذية على الميكروبات أقل غد آكلات اللحوم وآكلة اللحوم والنباتات كالإنسان. ومن أسباب ذلك أن هذه الأخيرة تميل إلى أكل الأغنام والأبقار وهي بذلك تتخطى مشكلة تحويل السيليولوز والنشا إلى بروتين. وبالرغم من أنها تأكل الخضروات أيضا فالسيليولوز-وهو المكون الأساس للخضروات-في إخراجه كلية تقريبا. ومع ذلك فهناك في أفواه الإنسان والحيوان والأجزاء السفلية من أمعائه عوالم من الميكروبات. ويعيش الإنسان-على سبيل المثال-مع مزرعتين دائمتين: الفم والقولون. وقد ناقشت ميكروبات الفم الطبيعي في الفصل الثالث؟ وكثير من هذه الميكروبات تقاوم حموضة المعدة ويمكن أن نجده في الأمعاء السفلية فلاكتوبسلس Lactobacilli وستربتوكوكس Streptococci توجد هناك عادة. ولكن هناك ميكروبات أخرى أيضا: أعني بكتيريا إيشيريشيا كولاي Escherichia coli والبكتيريا التي تنتج غاز الميثان وبكتيريا تولد الغاز تابعة لمجموعة كلوستريديوم Chlostridium والخميرة في العادة. كما نوجد أيضا أنماط جديدة من بكتيريا اللبن وسربتوكوكس وأحيانا حيوانات أولية (بروتوزوا) غير ممرضة. ويمكن لأنشطة هذه الميكروبات مجتمعة أن تسبب الضيق بعد أكلة نشوية مثلا لأن الغازات التي تولدها من طعام لم يتم هضمه هي المصدر الأساسي للانتفاخ أو«الريح». ولكن هذه الكائنات-أثناء النمو والتخمر-تخلق مواد عديدة ذات قيمة كبرى في تغذيتنا. وهذه المواد القيمة تتبع مجموعة فيتامين ب. ومن العسير تماما أن نجعل الأصحاء العاديين مصابين بالنقص في فيتامين ب. لقد ظل المتطوعون في الحرب الأخيرة أصحاء تماما بعد تناولهم غذاء الأرز المضروب الذي أزيلت قشرته عدة أسابيع، وكان المفروض أن يتسبب هذا الغذاء لهم في مرض البري بري beri-beri [(2)] غضون أيام. وعندما تناول المتطوعون مقررا وجيزا من عقار السلفا-قضى على أغلب الميكروبات في أمعائهم-ظهرت عليهم سريعا أمراض النقص الفيتاميني. وهذا هو السبب في أن الأطباء-الذين يفهمون عملهم-يبحثون عن أعراض نقص الفيتامين في المرض المعالجين بالمضادات الحيوية التي

لها تأثير بالغ إلى حد ما على الميكروبات في الفم والأمعاء، وان كان مركز فعل هذه المضادات في موضع آخر من الجسم. للاضطرابات المعوية الغامضة والتهيجات التي تحدث بعد علاج بالمضادات الحيوية أصل مشابه إذ يختل التوازن في بيئة الأمعاء الميكروبية حين تعود إلى حالتها الطبيعية وتسبب تفاعلات جسمية مزعجة.

وفيتامين ب 12 من الفيتامينات الهامة التي تنتجها الميكروبات في أمعاء الإنسان والحيوان. وهو مادة كيماوية معقدة تحتوي على معدن الكوبالت وله علاقة بتكوين الدم بالإضافة إلى وظائف أخرى. وقد أدى اكتشافه إلى ثورة في علاج الأنيميا الخبيثة pernicious anemia. وتحتوي الأمعاء على ميكروبات تصنع فيتامين ب 12 كما تحتوي على ميكروبات تهدمه أيضا. وتعتمد كمية فيتامين ب 12 التي تتمثلها الحيوانات الشابة في الواقع على التوازن بين هاتين المجموعتين من الميكروبات. وفي بداية العهد بالمضادات الحيوية تم اختبار الفطريات الناتجة من هذه الصناعة كعلف للخنزير والدجاج، ذلك أن هذه المخلفات الفطرية كانت تبدو للجميع، وكأنها نوع من الخضرة المفيدة. وبدا الأمر وكأنه اكتشاف أعجوبة-كأنما يملك الإنسان فطيرته ويأكلها-إذ نمت تلك الحيوانات وزادت في الوزن بصورة هائلة. وهي لم تصبح عملاقة ولكنها وصلت إلى وزن البلوغ بسرعة غير عادية وبطريقة اقتصادية. وبدت نفايات المضادات الحيوية وكأنها نوع من طعام الآلهة. وما زالت طريقة عمل هذا العلف بالضبط غامضة حتى الآن ولكن العامل الرئيسي بسيط: فالبكتيريا التي تهدم فيتامين ب 12 اكثر حساسية للمضادات الحيوية من تلك البكتيريا التي تصنعه. وتحتوي النفايات المستخدمة كطعام على القليل من المبيدات الحيوية الأصلية، وتكمن إصابة الهدف في تيسير تمثل الحيوان لفيتامين ب 12 في أمعائه حيث يميل التوازن في هذا الاتجاه. وليست هذه هي القصة كلها إذ أن نفايات المضادات الحيوية تحتوي هي نفسها على فيتامين ب 12 عادة الذي يساعد في تغذية الحيوان، وان كان الفيتامين ذا تركيب مختلف قليلا عن الفيتامين المعتاد الذي تصنعه البكتيريا. وتستخدم نفايات المضادات الحيوية اليوم بصورة روتينية في حظائر تربية الحيوان المكثفة، والواقع أنها أصبحت مدعاة للقلق من حيث أن استعمالها على نطاق واسع يزيد من خطورة انتقاء

ميكروبات مرضية تقاوم المضادات الحيوية. ويمكن للإنسان أن يجادل بقوله أن المخاطرة جديرة بالتحمل على ضوء أثر النفايات في إرخاص الطعام وتهيئة بروتينات ذات مستوى طيب للمزيد بعد المزيد من الناس، ولكن مثل هذا الجدل يتجاهل أمرا هو أن نسبة المرضى ذوي الحساسية للبنسلين قد زادت باطراد خلال عقدين من الزمان بعد شيوع استعماله. ويبدى نحو 7 في المائة من المرض في الولايات المتحدة حساسية لهذا المضاد الحيوي. ومن المحتمل أن يرجع أصل مثل هذه الحساسية إلى تناول كميات صغيرة من البنسلين باستمرار في اللبن مثلا، ويمكن أن يؤدي هذا إلى استجابة الحساسية عندما يأخذ الإنسان جرعة كبيرة لازمة في علاج المرض. إن استخدام المضادات الحيوية على نطاق واسع قي إنتاج الطعام أمر خطير؛ ليس من أجل انتقاء البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية فحسب، وإنما بسبب ما يؤدي إليه من نقص الكفاءة في إمكاناتنا الطبية ضد الميكروبات الأخرى.

وفهم وظيفة الميكروبات أمر هام للغاية في الزراعة. وتبدو الأمثلة الواضحة في أمراض حيوانات المزرعة. وتصبح وسائل المكافحة الصارمة ضرورية عندما تستقر الأمراض الفيروسية كالحمى القلاعية وطاعون الدجاج. وليس هناك شيء نعمله في مثل هذه البلايا سوى ذبح أو قتل الأبقار المصابة والدواجن حسب الحالة. وهناك نحو 200 نمط من العدوى الميكروبية المعروفة في حيوانات المزرعة تشمل أمراضا خطيرة مثل الدرن والبروسيلا ومرض النوم والطاعون البقري. وقد قدرت إدارة الزراعة في الولايات المتحدة عام 1956 أن إنتاج الماشية يمكن أن يتضاعف في الدول النامية لو تمت مكافحة الأمراض الميكروبية المعدية بطريقة مناسبة. أن تعليمات الحجر البيطري والعلاج الكيماوي تخضع هذه الأمراض للسيطرة في حدود معينة، ولكن من الممكن أن تحدث الأوبئة أحيانا، ولن يكون الموقف باعثا على الرضا حتى تنقرض هذه الأوبئة. وقد حدث وباء من حمى الخنازير الأفريقية في الستينات-وهي عدوى فيروسية في الخنازير- واستقر هذا الوباء في أسبانيا والبرتغال وهدد مناعة اللحوم من الخنازير تهديدا خطيرا. كما ظهر مرض الحصان الأفريقي فترة وجيزة في الشرق الأوسط، وكذلك سلالة من جنوب أفريقيا مسببة الحمى القلاعية. والسرعة

والسهولة التي يسافر بها الناس والحيوان اليوم حول العالم تجعل هذه البؤر الدائمة للعدوى مصدر خطورة لا للدول النامية فحسب وإنما للمجتمعات المتقدمة أيضا. إن مشكلة مكافحة أمراض الماشية تعد من الموضوعات الملحة التي تواجهها هيئه الأغذية والزراعة في الأمم المتحدة.

ولعل هذه الأمور مألوفة-من ناحية المبدأ أن لم تكن من ناحية التفاصيل-لقارئ الجرائد الذكي وربما كانت المعرفة الجيدة اندر فيما يتعلق بأهمية الآفات في المحاصيل الزراعية. ويمكن لأمراض النباتات أن تحدث خسائر هائلة، وهي تنتشر بالحشرات أو تنتقل من جذر إلى جذر في التربة. وقد قدرت الخسارة السنوية الناجمة عن الآفات الزراعية عام 1965 في الولايات المتحدة بمبلغ بليون و900 مليون جنيه أسترليني. وقد أتلفت فطريات الصدأ ruts-وهي فطريات بدائية [3] تتلف محاصيل الحبوب-قدرا من هذه المحاصيل في جنوب ويلز الجديدة New south wales[4] يكفي لإطعام ثلاثة ملايين من الناس في عامي 1947 و 1948. وقد تلف 40 في المائة تقريبا من محصول الأرز في إحدى مناطق فنزويلا عام 1956 نتيجة مرض يسمى هوجا بلانكا Hoja blanka. وكذلك تلف ثلث محصول الموز في جاميكا عام 1935 نتيجة أحد الفطريات («مرض بنما» وتسببه سلالة ممرضة من فطر غير ضار عادة اسمه فيوزاريوم اكسي سْبُورَم Fusarium oxysporum). وتبدو مثل هذه النكبات غير متخيلة وهي مدونة كإحصاءات على الأوراق، ولكنها تعني في الواقع-وخاصة عند الدول المتخلفة-أن أعدادا عظيمة من الناس تجوع وتتعرض للحرمان وقد تموت. ولدى المحاصيل الزراعية مقاومة طبيعية للآفات بصفة عامة، وإنما تحدث مصائب العدوى من الزراعة السيئة أو سوء الطالع فيها، وغالبا ما تمنع العناية الصحيحة بالمحتويات العضوية في التربة وبدرجة قلويتها انتشار العدوى إلى حد هائل. وقد تم البحث الجدي في السنين الأخيرة حول جدوى استخدام المضادات الحيوية في الزراعة ووجدت أنها فعالة في الواقع. غير أن ارتفاع أسعارها يمنع استخدامها إلا في أغنى البلاد التي هي أقل حاجة إليها عادة. ومن الوسائل التقليدية بالطبع استخدام مواد أخرى في التعفير مثل الكبريت ومخلوط بوردو ونحو ذلك لمنع الآفات الفطرية في زراعة الفواكه والخضروات والأزهار ومن الطريف أن التعفير بالكبريت ناجع بسبب ميكروب فثيو بسلس-

Thiobacillus.-وهي بكتيريا الكبريت التي صادفناها أول مرة في الفصل الثاني-تؤكسد الكبريت ببطء إلى حامض الكبريتيك على سطح النبات وتؤدي بلطف إلى بيئة شديدة الحموضة أمام نمو الآفات فل فطريات أويديوم Oidium، إلا أن هذه الحموضة أضعف من أن تتلف الأعناب.

والمكافحة البيولوجية لأمراض النبات وغيرها من الآفات الزراعية بوساطة التشجيع المتعمد للميكروبات المقاومة للآفات مازالت في طفولتها. ولكن قليلا من الأوروبيين الغربيين ليس على علم بالحرب البيولوجية التي شنت ضد الأرانب خلال خمس عشرة سنة خلت (وهي حرب غير رسمية في الواقع) ففي مايو من عام 1952 تم إعداد بضع أرانب بمرض من أمراض الفيروسات المخاطية myxomatosis ثم أطلق سراحها في أور ولوار في فرنسا Eure et loire، فانشر هذا المرض عند نهاية عام 1953 في 26 مقاطعة في فرنسا ووصل إلى بلجيكا وهولندا وسويسرا وألمانيا وقتل نسبة تتراوح بين 60- 90 في المائة من عدد الأرانب. ثم وصل المرض مع الزمن إلى بريطانيا وهو الآن متوطن في كل أوروبا. وتكتسب الأرانب المناعة ضد المرض ببطء شديد. ولولا المرض لكان إنعاش الزراعة الأوربية بعد الحرب أبطأ كثيرا دون ريب، وان كانت أعراض المرض مقززة. وقد تضاعف الإنتاج في بعض المناطق ثلاث مرات. ونستطيع في مجتمعات أوروبا بعد أن أصبحت اليوم جيدة التغذية-أن نشارك محبي الحيوانات شكوكهم حول جدوى القضاء على الأرانب، وقد كانت يوما من ملامح الريف اللافتة.. ومن الناحية الرسمية هناك ظل من الشك حول جدوى نشر هذا المرض عمدا في بريطانيا. ولكن الفلاح ليس لديه مثل هذه الشكوك. وقد أنبئت في عام 1964 أن سعر الأرنب الذي تمت إصابته إصابة فعالة بالمرض بلغ في السوق السوداء 50 جنيها.

وفي الإمكان مكافحة الآفات الصغيرة بالميكروبات. وهناك فطريات مفترسة تحيط بدود البطاطس وتهضمه في التربة كما يمكن تحضير بكتيريا لاستعمالها ضد الحشرات. وفي الإمكان تعليب باسلس ثورينجينيس Bacillus thuringensis تجاريا، لاستخدامها ضد اليسروع [(5)]. فهي تقضي على أنواع عديدة منها بكفاءة. وقد بذلت محاولات (غير ناجحة فيما يبدو) لمكافحة الجراد بنوع من الكلواكا Cloaca يسمى كوكوباسيلاس ايريكلورم

Coccobacillus aericlorum. وينبغي الاحتياط هنا، واستخدام السلالات النقية. فباسلس سيريوس Bacillus ceyeus تشابه جدا باسلس ثورينجنسيس، ويمكن أن تكون مرضية بالنسبة للإنسان (وان كان ذلك نادرا). واستخدام فيروسات الحشرات في هذا المضمار قد يكون مشجعا جدا، ذلك بان نشر هذه الفيروسات بالوسائل التي طورت من أجل الحرب البيولوجية لا بد وأنه سهل نسبيا. والبحث في هذا الاتجاه يأتي في أبانه تماما حين بدأ الناس يتيقنون من أن المبيدات الحشرية الكيماوية والمبيدات الفطرية قد تتميز بدرجة عالية من الثبات فتصبح جد خطيرة للإنسان والبيئة الطبيعية.

ذكرت في الفصل الأول أهمية البكتيريا المثبتة للنتروجين في الزراعة. والعملية الهامة-بصفة عامة-هي التكافل في تثبيت النتروجين أي العملية التي تتم فيها عدوى الميكروب للنبات واستقراره في عقدة ثم يؤدي اجتماع النبات والميكروب إلى تثبيت النتروجين. واشهر الأمثلة على هذا الاجتماع هي النباتات البقلية كالبرسيم ونحو-ذلك مع البكتيريا التي تتعلق بها وهي رايزوبيوم Rhizobium. ولما كانت بعض سلالات رايزوبيوم اكثر فعالية في إنتاج العقد البكتيرية من غيرها أصبح حقن المحاصيل البقلية بالسلالات الجيدة من الرايزوبيوم من أساليب الزراعة الشائعة الحكيمة. ولكن إذا كان اجتماع البقول ورايزوبيوم في زوج واحد هو أنفع ازدواج زراعي فعلينا ألا ننسى أن هناك أنظمة أخرى من التكافل يمكن أن تكون أهم في الطبيعة. ولدى نبات «جار الماء» alder ميكروب متكافل يثبت النتروجين ولعله من أسباب الفطريات (فهو من الأكتينومايسيتات) وهذا يمكنه من الانتشار في المناطق الجافة والصحراوية. وأعشاب شيفيرديا sherpherdia وآس المستنقعات نباتات قرية تنتشر في التربة الفقيرة والمستنقعات، وعندما تستقر أمثال هذه النباتات تهيئ ظروفا. أخصب وتمكن نباتات أخرى من أن تستقر هي الأخرى. والمعروف أن هناك نحو 190 من النباتات غير البقلية والشجرات تثبت النتروجين بمساعدة العقد. وبعض الأشن lichens وهي كائنات مركبة من الطحالب الخضراء المزرقة والفطريات التي صادفناها في الفصل الثاني-يمكن أن تجعل أسطح المنازل شديدة الخصوبة إن كان الشريك الطحلبي منها قادرا على تثبت النتروجين وتستطيع النباتات المزهرة عندئذ النمو على هذه الأسطح، وهي بذلك تجمل مشاهد الريف

الإنجليزي. وفي عام 1883 انفجرت جزيرة كراكاتوا البركانية Krakatoa في رخبيل الملايو انفجارا هينا وقتلت آلافا عديدة وجعلت منظر الغروب رائعا سنين عديدة بعد هذا الانفجار (نظرا للغبار في الجو). وقد أدى البركان إلى تعقيم الجزيرة، وكانت الكائنات الحياة الأولى التي عادت هي الطحالب الخضراء المزرقة المثبتة للنتروجين. وعندما جددت هذه الطحالب خصوبة التربة عادت ببطء من جديد النباتات الأخرى والطيور والحشرات والحيوانات. وأصبحت الجزيرة الآن عامرة تماما.

مازالت البكتيريا المثبتة للنتروجين أساسية بالنسبة لإنتاج الطعام في العالم ومازالت أنشطتها تقرر كمية الإنتاج من الطعام في جميع البلاد ما عدا الدول التي ارتقت في تطورها ارتقاء بالغا. وكثير من البكتيريا المثبتة للنتروجين ليست متكافلة. والبكتيريا من أمثال ازوتوبكتر Azobacter وكلوستر يديوم باستوريانم Clostridium pasteurianum وديسلفوفبريو Desulfovibyio بالإضافة إلى نوع أو نوعين من الميكروبات الأخرى التي تعيش حرة-تثبت النتروجين في غياب أي نبات عائل، وليست بها حاجة إلى العقد ويعد أحد أنواع هذه البكتيريا هاما في إخصاب التربة في المناطق الحارة، واسمها بايجيرنكيا beijerinckia. ولكن يبدو أن الصواب في الأمر يرجع إلى أنها تستهلك قدرا كبيرا من المواد الكربوهيدراتية أو مصادر الكربون المشابهة كي تثبت قليلا من النتروجين، أي أنها من الناحية الزراعية ليست ذات نفع كبير. وليست هناك مواد كربونية كافية متاحة في التربة العادية تمكن البكتيريا من هذا النوع من تثبيت الكميات النافعة من النتروجين. ولو وجدت هذه المواد لسارعت باستهلاكها البكتيريا الأخرى التي لا تثبت النتروجين. أما السب في أن بايجرنكيا لا تثبت النتروجين بكفاءة فمازال مشكلة لا حل لها. وقد تكون البكتيريا أشد فاعلية في الطبيعة منها في المختبر. ولم يكن عجزها مانع الزراعيين وخاصة في الاتحاد السوفيتي من محاولة تحسين الإنتاج الزراعي بإعداد الأرض عمدا بمثل هذه البكتيريا. وقد زعموا أمورا عظيمة نتيجة رش الأرض بمادة أزوباكترين Azobacterin، وهي مستحضر من بكتيريا الأزوت Azobacter يستخدم في الاتحاد السوفيتي، ولكن العلماء الروسيين والغربيين معا شكوا حديثا في جدواها. وكثيرا ما كانت التربة المعالجة فقيرة جدا بحيث كان في مقدور الهشيم [6] الذي

أضيفت إليه بكتيريا الأزوت أن يقدم وحده الفائدة نفسها. ويزيد من تعقيد الموقف أن بكتيريا الأزوت تنتج مواد شبيهة بالأوكسينات Auxin like substances-وهي مواد حافزة للنبات على النمو دون زيادة محتوياته من النتروجين على الإطلاق-وعلى ذلك لا تزيد قيمته الغذائية كمصدر للبروتينات في الطعام.

ونستطيع في حدود معرفتنا الراهنة أن نقول آمنين إن البكتيريا المثبتة للنتروجين والتي تعيش حرة لا أهمية لها من الناحية النسبية في حياة الإنسان الاقتصادية، إلا أن الطحالب الخضراء المزرقة شديدة الأهمية في المناطق القطبية الجنوبية حيث يظهر أنها المصدر الأساسي لخصوبة الأرض. كما أنها تهيئ المصدر الأساسي لمحصول الأرز في حقوله المغمورة بالمياه في الشرق الأقصى. وقد رسخ فهم أهميتها في اليابان حيث طور الدكتور واتانابي Watanabe وسائل زراعة الطحالب الخَضراء الضاربة للزرقة لإنتاج سماد أخضر يستخدم في إنتاج الأرز. وهذه وسيلة عملية ذكية مرضية معا، إذ تحول ميكروبات واتانابي ثاني أكسيد الكربون الجوي والنتروجين الجوي بمساعدة ضوء الشمس إلى المادة الخام في الطعام الأساسي لنصف الكرة الأرضية الشرقي.

وقد ألفت كتب بأسرها حول أهمية الميكروبات في الزراعة وتأثيرها على تركيب التربة وخصوبتها ودورها في تحلل المادة الخضرية ودورتها من جديد. أن المواد الخام الرئيسية للزراعة (وهي التربة والأسمدة) هي أما نواتج ميكروبية وإما بدائل للنواتج الميكروبية كما أشار إلى ذلك الأستاذ هيو نيكول Hugh Nichol منذ سنين. ولا أملك في كتاب كهذا سوى الانتقاء وذكر ما يبدو لي موضوعات رئيسية. ومع كل فإن هذا الفصل يتعلق بالتغذية، وإذا كان علم التغذية لا يستغني عن الزراعة فان هناك أمورا أخرى غير الخبز واللحم.. .

هناك البيرة مثلا.. . ومن الغريب أنني حين أذكر الأهمية الصناعية للميكروبات أمام الرجل العادي فإن البيرة أول ما يخطر بباله. أن أهمية الخميرة في إنتاج المشروبات الكحولية المخمرة قد أثارت انتباه أجيال متعاقبة من البشر بنوع خاص. وإذا كان الإنسان-في كتاب جاد كهذا-لا يستطيع الزعم صادقا بأن الخمر أساسية في التغذية، فانه يعترف بأنها تزيد من

البهجة في تناول الطعام بالتأكيد.[7].

تتم صناعة البيرة من خلال عمليات متعددة جدا حتى ليدهش المرء-إذا نظر في هذا الأمر بغير تحيز-كيف خطرت على بال إنسان. ومع ذلك فقد صنع قدماء المصريين نوعا من البيرة منذ نحو ستة آلاف سنة خلت، كما صنع البريطانيون القدماء البيرة من نقيع القمح قبل استخدام الرومان للشعير. وفيما يلي شرح لأسس مناعة البيرة: ينقع الشعير لاستنباته في الماء مدة يوم أو يومين ثم يترك في مكان دافئ رطب مدة تتراوح بين يومين إلى ستة أيام. وتسمى هذه العملية «التمليت» Malting. وتستخدم مواد الجيبريللينgibberellins للتحكم فيها وسيأتي ذكرها فيما بعد. وتنبت الحبوب وتنمو فتنتج أنزيمات تؤدي بالنشا المخزون في الحبوب إلى التحلل المائي [8] hydrolysis منتجا سكاكر، ثم يقتل الملت بتسخينه بلطف ولكن تكسر النشا إلى السكر يستمر حيث أن الإنزيمات لا تتلف جميعا. ثم ينقع الملت بعدئذ في الماء مرة أخرى لكي يترب منه السكر والأحماض الأمينية والأملاح التي تحتاج إليها الخمرة حتى تنمو. ثم تغلى هذه الخلاصة وتسمى نقيع الملت malt wort في النهاية حتى توقف نشاط الإنزيمات الباقية وتضاف إليها قشور حبوت الجنجل (حشيش الدينار) كي تكسبها نكهة مرة. وهذه القشور تضيف أيضا مواد تعوق نمو البكتيريا في الخلاصة وان كان التثبت من هذا الأمر لم يتم إلا حديثا. وعندما تبرد الخلاصة تضاف الخميرة ويترك الخليط كله للتخمر أسبوعا أو نحو أسبوع. ولا يقلب الخليط كما تستهلك الخميرة الأكسجين سريعا وتنمو بعد ذلك لا هوائيا، رغم أنها بدأت نموها في وجود الهواء. وهي في هذه الأحوال (تحت الظروف اللاهوائية) تحول السكر في الخلاصة إلى الكحول وغاز ثاني أكسيد الكربون، ثم يتوقف نمو الخمرة عندما يتجمع قدر كاف من الكحول يقف حجر عثرة في سبيل استمرار النمو. ويصبح السائل المتخمر جاهزا للشرب بعد فترة من التخزين لترسيب الخميرة.

وهناك تحسينات عديدة تستخدم حسب نوع البيرة المصنوعة، ولكن يستخدم نوعان فقط من الخميرة: سكارومايسيس سيريفيسياي S.saccharomyces cervisiae وقريبها اللصيق س. كارلسبرجينسيس carlesbergensis، وقد اختير النوعان لتحملهما الكحول وطعمهما وخصائص

الترسيب فيهما. وتستخدم أنواع من المعالجات لتثبيت البيرة (حتى تبقى طويلا) ولجعلها تحتفظ بغازيتها ولمنع الترسيب فيها أثناء التخزين. وينبغي فضلا عن ذلك أن تظل البكتيريا الخارجية مثل لاكتو باسلس lactobacilli وأسيتوبكتر (بكتيريا الخل) acetobacter تحت السيطرة لأنها يمكن أن تفسد البيرة عندما تنتج حامض اللبنيك أو حامض الخليك. إن هذه الأمور هي أركان الحرفة في صناعة البيرة، وهي بعيدة من أن تكون علما على الرغم من التقدم الذي حققناه في فهم هذه العملية.

وإنتاج النبيذ-وهو عصير العنب المتخمر-يتم بعملية تخمر مماثلة، ولكنا لا تحتاج إلى عملية تمليت مشابهة. وتعصر الأعناب بالهرس بالأقدام العارية وهي الطريقة التقليدية، وان كان ذلك يتم اليوم بطريقة ميكانيكية. ثم يجمع العصير ويخمر بالخميرة البرية ؛ وهي الخمرة التي تظهر طبيعيا على الفاكهة أو التي تلوث براميل النبيذ من عام إلى عام. وهذه الخميرة وطيدة القرابة لخميرة س. سيربفيسياي S.serevisiae وان كان خبراء النبيذ يسمونها غالبا س. إليبسوبديوس S.ellipsoideus ويستخدمون منها سلالات نقية أحيانا في كاليفورنيا على الأغلب (ولكن منتجي الأنبذة الجيدة لا يستخدمونها). وتظل البكتريا الخارجية تحت السيطرة من خلال المعالجة الكبريتية لعصير العنب ثاني أكسيد الكبريت (أو بثيوكبريتات الصوديوم Sodium thiosulphate التي تنتج ثاني أكسيد الكبريت عند ملامستها للأحماض في عصير العنب) ؟ وهذه المعالجة أشد سمية للبكتيريا منها للخميرة. ومن عناصر الحرفة في مناعة النبيذ إضافة كمية كافية من الكبريت تؤدي إلى تخمر طيب ولكنها لا تكفي لإفساد الطعم. أما الأنبذة البيضاء التي تصنع من عصير العنب الذي أزيلت قشوره وبذوره وأعناقه في مرحلة مبكرة فهي غالبا ما تعاني من زيادة في الكبريت ويمكن تمييزها خلال طعمها الرديء (كضباب لندن). وأما الأنبذة الحمراء-وهي حمراء لأن التخمر يحدث في وجود القشور والبذور بحيث تستخلص المواد الملونة-فيبدو أنها أقل تعرضا للمتاعب من زيادة الكبريت. ولعل السب يكمن في احتوائها على قدر أكبر من التانين مقارنة بالأنبذة البيضاء ؛ ومادة التانين tannin مضادة للبكتيريا إلى حد ما، ولذلك تصبح الحاجة إلى الكبريت في وجودها أقل إلحاحا. وتصنع الأنبذة الوردية yose wines بتعريض العصير فترة وجيزة لنفايات

العنب الصلبة، ولذلك تتعرض أحيانا لزيادة الكبريت. وطبيعي أن إمكان صناعة الأنبذة الوردية بمزج الأنبذة الحمراء والبيضاء أمر لا يمكن أن يفكر فيه. صناع النبيذ المحترمون. ويجب أن يخلص الإنسان إلى أن الأنبذة الوردية الرخيصة وخاصة في فرنسا إنما تصنع أحيانا بلا تفكر.

والعملية الأساسية في صناعة النبيذ-كما في صناعة البيرة-هي تخمير محلول السكر بوساطة الخميرة. وتزيد الحموضة فوق اللازم في بعض الأنبذة وخاصة أنبذة بورجوندي Burgundies لأنها تحتوي على نسبة عالية من حمض الماليك [9] malic. وفي هذه الظروف تؤدي بكتيريا لاكتوباسلس lactobacilli الموجودة على الفاكهة أو في براميل النبيذ إلى تحريك حمض الماليك إلى حمض اللاكتيك [10] الأضعف وبذلك تخفض الحموضة الكلية. ويسمى خبراء النبيذ هذه العملية: التخمر المالو-لاكتيكي. وترجع بعض خصائص الأنبذة البيضاء الحلوة-التي تسمى سوتيرن نسبة إلى بلدها في فرنسا Sauternes-إلى استخدام الأعناب التي خففت جزئيا نتيجة لإصابتها بعفن بوتريتس سينيريا Botrytis cinerea. ولما كانت صناعة النبيذ تعتمد على التخمر الميكروبي أصبح في الإمكان إنتاج النبيذ باستمرار بأساليب التخمر المستمرة. وقد تم ذلك بالفعل في بوديجا سيانا Bodega Cyana إحدى مناطق الأرجنتين. ولكن الأنبذة الممتازة-ذات الأسماء النبيلة-أمثال شاتو لا تور Chateau Latour وشاتو لافيت Chateau Lafite وشاتوموتون روتشيلد Chateau Mouton Rothschild فهي انتصارات فنية اكثر منها أعمالا حرفية، ويكاد يعتمد امتيازها كلية على تفاصيل زراعة الأعناب وعمليات الترويق بعد التخمير والتخزين والنضج. وتتطلب هذه التفاصيل درجة من إسهام الخبرة الإنسانية ما تزال أبعد من أية عملية آلية مستمرة. ولا تلعب الميكروبات دورا في عملية النضج maturation أو تلعب دورا ضئيلا، وإن قيل إن التلوث بعفن أويديوم oidium الموجود على الأعناب يكسب النبيذ الطيب نكهة هامة. وتحدث أثناء النضج تفاعلات معينة بين أحماض الفاكهة والكحول، ويحدث قدر معين من ترسب المواد غير الذائبة، وتتكون الرواسب في النبيذ الطيب المستوى من الطرطرات والتانين. ويمكن أن تتحسن الأنبذة الحمراء باطراد حتى تبلغ من العمر 15 عاما، وإن جاز أن تسوء أو تتدهور قليلا بعد التعبئة (فتمرض من الزجاجة). أما الأنبذة البيضاء فقليلا ما

تتحسن بعد تعبئتها.

أما الأنبذة المتقوية reiforced مثل ماديراmadeira وشيريز Sherries وبورت port وفيرموت Vermouth فهي في أساسها أنبذة أضيف إليها السكر وقدر إضافي من الكحول والأعشاب في بعض الأحيان. ولا تلعب الميكروبات دورا في هذه المعالجات. ويستخدم-في حالة الشيريز-نمط طريف من التخمر المستمر يدعى سوليراSolera وفيه يتم إمرار النبيذ بعد التخمر في براميل مصفوفة. يؤدي كل منها إلى التالي ويمكن أن يبلغ عددها عشرة مرتبة على التوالي. ويستخرج النبيذ من البرميل الأسفل. وقد تستغرق عملية المرور من البرميل الأول إلى الأخير عدة سنين. وتطفو على سطح كل برميل قشرة من الخميرة قريبة الشبه بخميرة س. سيرفيسيا S.cervisia ولكنها تسمى س. بيتيكسS.beticus ويضيف هذا الميكروب بعض الطعم والروائح التي تكسب الشيريز خاصيتها الشهيرة، وان كان هذا الميكروب قليل التأثير على ما يحتويه النبيذ من الكحول. ثم تحلى الشيريز بعد استخراجها من عملية سوليرا بالنبيذ الطازج الحلو وتقوى بالبراندي.

ويُقطَّر البراندي-وغيره من المشروبات الروحية كلها-من النبيذ أو ملت الحبوب المتخمر. وتلعب الميكروبات دورا ضئيلا في تحضيرها بعد مرحلة التخمر ولن أتعرض لها بالشرح اكثر من ذلك.

أما الشمبانيا Champagne والأنبذة الفوارة الأخرى فلها أهمية خاصة لأنها تستخدم عملية تخمر مزدوجة. إن التخمر-كما رأينا-لا ينتج الكحول فقط وإنما ينتج أيضا غاز ثاني أكسيد الكربون. والواقع أن الغاز الناجم من برميل-يزيد فيه نقيع الملت أو عصير العنب-يمكن أن يكون قاتلا تماما لو حدث-إن احتبس أحد العمال في برميل ملئ به. ويحتبس بعض هذا الغاز عمدا في الزجاجات عند صناعة الشمبانيا. ويخلط النبيذ الأبيض-عند مزجه بطريقة مناسبة-بقليل من الشربات ويعبأ في زجاجات قوية خاصة تسدها سدادات من الفلين محكمة الإقفال ثم تترك على رفوف حتى تتخمر ببطء (فتنمو سلالة خاصة من خميرة س. سيريفيسياي وهي خميرة الشمبانيا)، وينتج من الغاز كمية كافية لكربنة النبيذ مع تفادي الانفجار عندما تتم العملية بطريقة صحيحة. وتقلب الزجاجات ببطء شديد خلال بضعة شهور حتى تصبح رأسا على عقب في رفوف (تسمى المنابر) وتستقر

الخمرة والراسب على داخل السدادة. وعند هذه المرحلة تزال السدادة وتعاد وبسرعة، لكي تطرد كتلة من الخميرة والرواسب للخارج (وتجمد أعناق الزجاجات بالتبريد في بعض الأحيان لتسهيل العملي) ويضاف حجم مكافئ من الشربات والبراندي بنسب مختلفة. وتؤدي هذه العملية إلى نبيذ مستقر يحتفظ بفورانه مدة طويلة بعد فتح الزجاجة. أما الأنبذة الرخيصة الفوارة فتصنع بكربنة الأنبذة الساكنة تحت ضغط عال كما يحدث في تحضير ماء الصودا. ويتعرض طعمها للمسخ سريعا.

أما بتيانس (معناها بالعربية اللمعان) petillance ذو المذاق الحريف الخفيف. والذي ي,جد في بعض الأنبذة المحلية حديثة الصنع في البرتغال وفرنسا وإيطاليا فيمكن أن يعزى ظهوره إلى سبب مشابه (لعملية الشامبانيا) ؛ وهو تعبئة النبيذ قبل تمام التخمر ثم استمرار التخمر البطيء مما يؤدي إلى كربنة النبيذ كربنة هينة.

وتصنع الأنبذة الممتازة من عصير العنب المتخمر وأفضلها تلك التي يصنعها الفرنسيون وان كان من المسلم به أن بعض أهالي الراين والإيطاليين واليوغوسلافيين وحتى الأستراليين وأهالي كاليفورنيا يصنعون منها أنواعا طيبة. وعلى العموم فنوعية العنب وقدرة صانع النبيذ هما اللتان تحددان جودته اكثر مما تفعل الميكروبات.

وفي الإمكان صناعة أنبذة من عصير الفاكهة تعرف بأنبذة الفاكهة مثل السايدر Ciderوعصير الكمثري المخمر Perry، كما تصنع الأنبذة أو الجعة من الجذور، وحتى من الأزهار. وكلها تعتمد أساسا على تخمر سكاكر الفاكهة بوساطة الخميرة. وباستثناء أنبذة التفاح والكمثري التجارية، فإن الخميرة المستخدمة عادة خميرة برية، أي أنها تضاف بصفة طبيعية مع الفاكهة، أن جعة بلك-Pulque وهي جعة مكسيكية-تصنع بتخمير عصارة الصبار من نوع أجاف)Avage ولعل، المشروب الروحي المقطر منها تكيلا Tequilaهو الأشبع لدى الأوروبيين). وهذه الجعة غليظة القوام، لأنها تحتوي على بكتيريا لاكتوباسلسLactobacillus ، بالإضافة إلى الخميرة، ويمكن أن تكون الأنبذة المصنوعة في المنازل شديدة الضرر، لأن الخميرة البرية يمكن أن تنتج نواتج ثانوية أثناء التخمر ضعيفة السمية مثل الأسيتالدهيد .acetaldehydeوقد تكون الصناعة المنزلية أساسا للزهو المؤقت عند من

تجشموا العناء في صناعتها، ولكن يجب الاعتراف بان اللذة في الأنبذة المنزلية تكمن في الإحساس بإنجاز العمل اكثر من مزايا الطعم. ومع كل، فليس من اللائق أن نهزأ بإحساس الإنجاز. وإذا كان لمثل هذا الكتاب العام أن يقدم معرفة ذات قيمة عملية فسوف أضيف الوصفة التالية لصناعة نبيذ من الأزهار يمكن تحضيره في المنزل في الفصل المناسب من العام وشربه في غضون غرة أيام إلى أربعة عشر يوما (فهو لا يعمر) وتشرح هذه الوصفة أسس الشمبنة، مع تجنب أية مخاطرة منها. والأهم أن الشراب الناتج شراب لطيف قليل الكحول وليست له آثار جانبية كالخمور المعقدة نظرا لأن فترة تخمره وجيزة.

شمبانيا زهور البلسان Elderflower champagne[11]

أجمع أودع أطفالك يجمعون نحو تسعة من ذؤابات زهور البلسان، وانقعها في جالون من ماء الصنبور البارد يحتوي على شرائح ليمونة واحدة، وأضف ملعقتين كبيرتين من الخل الأبيض ورطلا ونصف رطل من السكر. صف المخلوط بعد 24 ساعة وعبئه في زجاجة. ثم أشربه حين يصبح نشيطا بعد نحو عشرة أيام. وعلامة النشاط فوران خفيف عند نزع السدادة وعكارة في النبيذ نتيجة نمو الخميرة البرية.

ويوضح هذا النبيذ ثلاثة من المبادئ الأساسية التي ناقشناها. فالحموضة-التي يهيئها الخل هنا والتي توجد عادة بصورة طبيعية في عصارات الفاكهة-نشجع على نمو الخميرة وتمنع نمو البكتيريا التي يمكن أن تسبب مذاقا كريها. ثانيا: يجب إزالة المواد الخام بعد فترة وجيزة من النقع وإلا سببت هي الأخرى طعما غير سائغ. وأخيرا يؤدي احتباس التخمر في زجاجات مسدودة إلى منع هروب ثاني أكسيد الكربون ويجعل الخمر غازية قليلا، (وهو المبدأ الكامن في تخمر الشمبانيا). ويستحسن ألا نهمل الزجاجات لفترات طويلة وإلا انفجرت.

ولمشتقات اللبن المتخمرة تاريخ طويل كتاريخ الأنبذة والبيرة. فقد كان اليونانيون القدماء يقدمون الأجبان مثلا للآلهة ربما كبديل للطعام الإلهي. واللبن مادة مثالية لنمو أنماط عديدة من الميكروبات، ويمكن أن يسبب بعضها عدوى مزعجة للإنسان مثل سربتوكوكاس. أجالاكتيا Streptococcus

agalactiae، وهو الميكروب الذي يسبب التهاب الثدي في الماشية وميكروب بروسيلا Brucella المسئول عن الإجهاض المعدي في الماشية كما قد يسبب عدوى خطيرة للإنسان. وقد كان السل البقري أيضا من الأخطار الناجمة عن شرب اللبن، ولكن الوسائل الصحية الحديثة في مزارع الألبان قد استأصلت شأفة هذه الأخطار. إلا أن الإهمال في تداول اللبن في البيت يمكن أن يعيد إليه الميكروبات المعدية، كما أن الممارسة الاقتصادية الخاصة بإرجاع اللبن المتذوق إلى وعاء اللبن دون أن يكون قد عولج-وخاصة لبن الأطفال-هي السبب في كثير من البلايا المنزلية البسيطة. ومن حسن حظ الأغلبية منا أن أشيع الميكروبات التي تسبب تخثر اللبن الطبيعي هي بكتيريا ستربتوكوكاس لاكتس Streptococcus lactis غير الضارة. أما لاكتوباسلس بولجاريكس Lactobacillus bulgaricus فهي البكتيريا التي تستخدم في إنتاج اللبن الزبادي (اليوغورت) وذلك بتخمير سكر اللبن (اللاكتوز) إلى حمض اللبنيك lackic acid (وهذا يزيد من حموضة البيئة (في اللبن) ويجعلها غير مناسبة لنمو كثير من البكتيريا المرضية. ويحتوي اللبن الزبادي-فضلا عن ذلك-على ميكروب آخر هو بكتيريا ستربتوكوكاس ثيرموفيلاس Streptococcus thermophilus الذي يكسبه طعما دسما مميزا. كما قد توجد الخميرة في الزبادي أحيانا. واللبن الزبادي غذاء كامل يشيع تناوله في المشرق الأوسط وبلاد البلقان، وزادت شعبيته في أوروبا الغربية. واللبنة مشابهة للزبادي، وهي عبارة عن ألبان النعاج أو الماعز غير كاملة التخمر. أما اللبن المخيض، Butter milk الأمريكي، فهو لبن خالي الدسم تخمر جزئيا وغلظ قوامه بسبب نمو ليكونوستك Leuconostoc فيه، وهو بكتيريا خيطية وطيدة العلاقة بلاكتوباسلس Lactobacillus) [12]. وترجع نكهة الزبد إلى نمو ضعيف لبكتيريا استربتوكوكسstreptococcus خلال تحضيره (فيؤدي نموها إلى تكوين مادة كيماوية سائغة الطعم تسمى أسيتوين acetoin). ويحتفظ أغلب منتجي الألبان بمزارع «بادئة» Starter cultures من هذه الميكروبات لها قدرة طيبة على إنتاج هذه المادة.

تؤدي الحموضة إلى تجلط اللبن والجلطة أو الخثارة الناشئة من تخمر اللبن العادي هي المادة الأساسية في صناعة الجبن. وإذا كان تحضير الخثارة يتم أصلا بوساطة التخمر الميكروبي فقد ظل تحضيرها قرونا يتم

بمعالجة اللبن بإنزيم الرينين rennin (المستخرج من معدات العجول) والمعروف لدى ربات البيوت باسم أقراص رينيت rennet في عمل الجنكت [13] Junket. والخثارة - أساسا-كتلة من الكازيين casein، وهو بروتين اللبن. وتصنع الأجبان-بعد فصل الشرش whey-بترك الميكروبات تفعل فعلها ببساطة في الخثارة. وقد تم تأليف كتب بكاملها في صناعة الأجبان كما هي الحال في المشروبات الكحلية. ولا أستطيع هنا سوى إلقاء نظرة وجيزة على الموضوع.

والأجبان القشدية أو الحلوم [14] هي-في بساطة-خثارة اللبن الصابحة أو الخثارة التي عتقت لفترات وجيزة فقط بحيث تسبب بكتيريا لاكتوباسلس فيها بعض التحلل في البروتين، وهي لا تعيش طويلا. وعندما تعتق مثل هذه الأجبان يستمر فيها تكسر البروتين، وتتولد آثار من النوشار «الأمونيا»، وينفصل قدر اكبر من الشرش وتصبح الخثارة اكثر كثافة، أما أحبان الخثارة الحقيقية والمشهورة بأسماء أجبان شيدر Chedder أو ششر.. . cheshire فهي مصنوعة من الخثارة المضغوطة، وأما الأجبان اللذيذة والتي لا يوحي منظرها بطعمها السائغ مثل أجبان كامومبير Camembert وكاري دي ليست Carre de l'Est ونحوها فان التحلل فيها يستمر حتى مرحلة التعفن تقريبا، وتقوم به فطريات تنمو على سطح الخثارة مثل فطر أويديوم Oidium. وتظهر كميات كبيرة من الأمونيا والأمينات الناشئة من الأحماض الأمينية. وتنمو أنواع من فطر البنسيليوم Penicillium أيضا في الأجبان المعروقة Veined مثل أجبان ستيلتون Stilton أو جورجونزولا gorgonzola وترجع العروق إلى جراثيم الفطريات الملونة. وتنمو بكتيريا بروبيونو بكتيربوم Propionibacterium في الخثارة عند مناعة الأجبان السويسرية مثل الجروبير Gruyere وإمينتيلر Emmenthaler، وتصنع حمض البروبيونيك المسئول عن طعمها المميز، كما تولد ثاني أكسيد الكربون الذي تسبب ما فيها من ثقوب. إما الأجبان المصنعة، Processed ففي الإمكان إنتاجها من أي نوع من الأنواع السابقة التي عادة ما تخلط إلى حد التجانس بالخثارة الصابحة وبمواد حافظة، ثم تبستر وتعلب لإيقاف أنشطة الميكروبات فيها. وهي أجبان طيبة ومغذية تماما، ولكن الإقبال عليها جد ضئيل.

وصنع الأجبان-كصنع النبيذ-حرفة تحتاج إلى دقة عظيمة، وحتى في هذه الأيام التي توفرت فيها المعرفة بصناعة الطعام نجد أن أجبان ستيلتون

الحقيقية فلا لا تصنع إلا بالقرب من قرية ستيلتون قي مقاطعة هانتجدونشير Huntingdonshire (والغريب أنها لا تصنع في القرية نفسها). والميكروبات التي تخمر أجبان كامومبير متاحة في كل أنحاء العالم من استراليا إلى الولايات المتحدة، ولكن الإتقان في إنتاج الجبن النورماندي الحقيقي-لسبب ما-نادرا ما يبلغه منتج آخر. ومن المصادفات السعيدة لدى سكان هذه الجزر البريطانية أن النورمانديين الاقتصاديين يتحرون تصدير أفضل منتجاتهم، وأن أجبان كامومبير الطيبة الحقيقية يغلب وجودها في بريطانيا اكثر من فرنسا.

والاستخدام الثالث الرئيس للميكروبات في صناعة الأغذية ينجلي في صناعة الخبز. ولا داعي لإطالة وقوفنا عند هذه العملية ؛ إذ تترك الخميرة لتخمر السكاكر في العجين فترة وجيزة، فيكون ثاني أكسيد الكربون الناتج فقاعات ضئيلة تنفش الخبز عند خبزه. ويمكن تقليد هذه العملية بإضافة ذرة من صودا الخبيز، ولكنا سوف نفقد القيمة الغذائية للخميرة عندئذ، وهي مادة غذائية قيمة كما سنرى فيما بعد.

وتحضير الزاوركراوت Saurkraut [15]من الكرنب يمثل تخمرا ميكروبيا هينا له بعض الأهمية في القارة الأوروبية. وفي هذه العملية تترك أوراق الكرنب بعد تقطيعها للتبخر بوساطة نوع من لاكتوباسلس وطيد العلاقة بانواع لاكتوباسلس التي تستخدم في إنتاج الزبادي. ويؤدي حمض اللاكتيك (= اللبنيك) الناتج إلى حفظ الخضار من أي تحلل ميكروبي إضافي، أما الخل Vinegar-الذي يستخدم بكثرة في التحليل كما يستخدم أيضا في تحضير الطعام اليومي-فهو محلول مخفف من حمض غذائي هام آخر هو حمض الخليك Acetic acid. وقديما كان كثير من الخل التجاري ينتج من خلال تخفيف مناسب لحمض الخليك المناعي ولكن ذلك أصبح الآن مخالفا للقانون في بريطانيا. أما كلمة Vinegar فهي تعني الكلمة التقليدية: النبيذ الحامض وهي بالفرنسية Vin aigre وبالإنجليزية Sour wine. وينتج خلال تأثير بكتيريا حمض الخليك (أسيتوباكتر Acetobacter وأسيتوموناس Acetomonas) على النبيذ. وتنمو هذه البكتيريا تلقائيا في العادة عندما يتعرض النبيذ للهواء، وهي تؤكسد ما يحتويه من الكحول إلى حمض الخليك. وتكون الطريقة التقليدية في صنع الخل بالسماح للنبيذ الأحسن غير

المستساغ. rough wine أن يرشح خلال أبراج من أغصان البتولا birch twigs أو مواد خشبية أخرى كان قد نما على أسطحها غشاء من بكتيريا الخل، وعلى ذلك ينشا نوع من المزرعة المستمرة. وتسمح الأغصان بالتهوية الفعالة، ويمكن جمع الخل. من القاع. وفي الإمكان استخدام أي مشروب كحولي في صناعة الخل ؛ ويجب أن يصنع خل النبيذ أو خل أورليانز Orleans حقا من النبيذ، كما يصنع خل الشعير من البيرة وخل التفاح من السايدر Cider. ويمكن أن نجد كثيرا من البكتيريا الأخرى غير بكتيريا الخل في الأبراج. كما أن التفاصيل في ميكروبيرلوجية العملية غير مفهومة.

وعملية صناعة السيلاج [16] Siluge في الزراعة هي في الأساس معالجة الحشائش بحيث تنمو فيها بكتيريا لاكتوباسلس ويؤدي الحمض الناتج الى حفظ المادة من التعفن التام-كما يحدث في تحضير الزاور كراوت من أوراق الكرنب.

وتؤدي الوسائل الحديثة في صناعة الأغذية ومعالجتها أحيانا الى منتجات أقل تكاملا مما ينبغي لها، وان كان ذلك اهون مما يزعمه لنا أصحاب التعصب الغذائي. فالمعروف مثلا أن الخبز الأبيض تنقصه فيتامينات عديدة (فيتامين هـ E وكثير من مجموعة ب B)، وهي موجودة في الخبز الأسمر الكامل. ولذلك نمت صناعات المواد الغذائية من هذا النوع حتى تعوض تلك المواد المفقودة في الصناعة الأغذية وكي تثرى الأطعمة ذات القيمة الغذائية المحدودة وكي تستخدم في الطب. وحمض اللايسين Lysine حمض أميني يحصل الإنسان عليه من البروتين، ولا يستطيع أن يصنعه بنفسه، فلا بد من إضافة قدر منه إلى الطعام. وقد أمكن إنتاجه صناعيا من أجل إثراء الخبز به. إن العملية المستخدمة طريفة لأنها تفيد من ميكروبين على التتابع، واحد منها-وهو سلالة خاصة من إيشيريشيا كولاي Esherichia coli-لا يقدر على إنتاج اللايسين لأن انزيما خاصا ينقصه بسبب الطفرة. وهو يستطيع أن يصنع المادة الأولية التي يخلق منها اللايسين مباشرة وهي تسمى حمض داي امينو بيميليك (د ا ب على سبيل الاختصار(diamino pimelic acid (DAP). ولو أن هذه السلالة الطافرة نمت عندئذ في وجود القليل فقط من اللايسين (ولا بد لها من شيء منه وإلا عجزت تماما عن النمو) فإن جهازها الكلي المختص بتخليق اللايسين يعمل

إلى مرحلة إنتاج (د أ ب عادة ثم يقف عند ذلك. ونتيجة لذلك تتجمع كميات كبيرة من د أ ب في المزرعة. أما الميكروب الآخر وهو ايروباكتر ايروجينيز Aerobacter aerogenes فيحتوى على كميات وفيرة من الانزيم اللازم لتحويل د أ ب إلى اللايسين. ولذلك في العملية الصناعية تتم زراعة هذا الميكروب ثم يقتل بمادة التولوين، ويُستخدم الانزيم المستخلص منه في تحويل د أ ب المتجمع بواسطة كولاي إلى اللايسين.

وهذه العملية مصدر رضا للميكروبيولوجيين لأنها جاءت نتيجة مباشرة للتقدم في فهم الكيمياء الحيوية للبكتيريا بدلا من مجيئها خلال الطرق التقليدية التي تمكن الميكروبيولوجيون من فهمها فيما بعد. وقد ظهرت العملية نتيجة البحث الأساسي الذي تولته الدكتورة إليزابث ورك, Elisabeth work في مستشفى الكلية الجامعية في لندن وهي التي اكتشفت في الأصل د أ ب كحمض ملفت للنظر يوجد فقط في البكتيريا. ونادرا ما تثمر البحوث العلمية الأساسية بصورة قاطعة على هذا النحو.

وفيتامين ج (G) أو حمض الأسكوربيك Ascorbic أحد الفيتامينات القليلة التي يمكن تناولها بأمان نسبيا دون إرشاد طبي، وهو يستخدم على نطاق واسع للتعجيل بالشفاء من المرض، وكذلك لعلاج حالات النقص الحقيقي (مرض الاسقربوط) وهو ينتج مناعيا من مركب نباتي هو السوربيتول Sorbitol خلال سلسلة من التحولات الكيماوية. وتتعرض المادة في إحدى هذه الخطوات لبكتيريا تسمى أسيتوباكتر سب اكسيدانزكد Acetobacter suboxydans التي تؤكسدها برفق اكثر مما تتيحه الكيمياء التقليدية. أما فيتامين ب 2، أو الريبوفلافين yiboflavin فيتم إنتاجه ميكروبيولوجيا باستخدام خميرة ايريموثيكم أشبياي Eremothicum ashbyii أو خميرة أشبيا جوسيبياي Ashbya gessypii. وقد زود الميكروب الأخير الولايات المتحدة بأربعمائة ألف رطل فن الريبوفلافين في عام 1957. وأما فيتامين ب 12 أو كوبالاميد Cobalamide[17]-الذي ناقشته في بداية الفصل-فهو أساسي في علاج الأنيميا الخبيثة. وإذا كان استخلاصه قد تم في الأصل من كباد الحيوان الطازجة فانه يصنع الآن فقط باستخدام الميكروبات، وطلبه قي الطب قليل، ولكن استعماله كإضافة فيتامينية لعلف الحيوان يجعل إنتاجه التجاري مربحا. وقد استخدم في إنتاجه مناعيا كل من الستربتومايسيت-

س. أو ليفيسيوس .S.olivaceus وبكتيريا باسيلس ميجاتيريوم Bacillus megaterium وقد ظهر حديثا أن البكتيريا الضالعة في عمليات التخمر في المجاري (الفصل السابع) تصنع كميات ضخمة من فيتامين 12، وقد يتأكد في النهاية أن استخلاص هذا الفيتامين من المجاري هو أرخص مصدر له. ويوجد الكاروتين في بعض أنواع الخميرة والبكتيريا الملونة، وهو مولد لفيتامين أ، كما يتم إنتاجه صناعيا في البرازيل بمساعدة فطر بلاكيسليا تريسبوراBlakeslea trispora. وتوجد مادة الايرجوستيرول Ergosterol-وهي قريبة لفيتامين د. في الخميرة، ولكن لما يتم استغلال هذا المصدر صناعيا حتى الآن.

وينبغي أن اذكر في هذا المقام الجيبريللينات gibberellins التي أثبتت قيمتها في الزراعة على أنها ليست مواد غذائية بالمعنى الحرفي وقد جاء اكتشافها في الأصل كمسببات لمرض فطري يصيب الأرزة والجيبر يللينات مواد يفرزها فطر معين ممرض للنبات وإسمه جيبريللافيوجيكوروا Gibberella fujikuroi. ولهذه المواد فعل يشبه فعل الهورمونات على النباتات إذ تزيد من سرعة نموها وانقسام خلاياها، وهي تسبب موت البادرات سريعا إذا هي تركت بغير ضابط. إلا أن الاستعمال الصحيح للجيبريللينات يمكن أن تزيد من معدلات نمو نباتات المحاصيل وان يقلص فترة الكمون في البطاطس وهلم جرا، كما أصبحت المعالجة بالجيبريللين لإسراع في عملية التملت أثناء صناعة الجعة شائعة في العالم أجمع تقريبا.

هناك منتجات ميكروبية أخرى هامة في إنتاج الغذاء. فحمض السيتريك يستخدم بكميات هائلة في صناعة المشروبات الغازية، ويقدر الإنتاج السنوي الحالي من هذا الحمض بما يزيد على 100 مليون رطل في الولايات المتحدة. وتنتج كل هذه الكمية خلال تأثير فطر أسبرجيللس نيجر Aspergillus niger على السكر. وصناعة حمض السيتريك من اكثر الصناعات إحاطة بالسرية، ويصعب الحصول على تفاصيلها، ولكن الفكرة الأساسية تعتمد على السماح لحصيرة [18] الفطر بالنمو على محصول من السكر يحتوي على أملاح معينة. وتضبط درجة حموضته عند قيمة محددة، فيتحول جميع السكر تقريبا إلى حمض السيتريك، خلال أيام معدودة. كما أن حمض اللكتيك (اللبنيك)-الذي صادفناه في تخمر اللبن من قبل-له استعمالات في صناعة

المشروبات الغازية أيضا. على أن هذا الحمض يمكن الحصول عليه من تخمر شرس اللبن كمادة خام، واستخدام لاكتوباسلس كازاي Lactobacillus casei كميكروب التخمر. كما يمكن استخدام سلالات أخرى من لاكتوباسلس Lactobacillus عودت على. مواد خام أخرى مثل سكر الذرة وسكاكر البطاطس في هذه الصناعة. وحمض الجلوتاميك glutamic مادة أخرى يمكن تحضيرها من الميكروبات وتضاف هذه المادة إلى الأغذية المحفوظة لتحسن من نكهتها (كمادة نصف جلوتامات الصوديوم sodium-half-glutamate أو جلوتامات الصوديوم الأحادية monosodium glutamate التي تضاف إلى «الشوربة» المجففة مثلا). ويمكن استخدام كثير من البكتيريا وبعض الفطريات في إنتاج هذه المادة، ولكن أغلب الكميات المستهلكة سنويا في الولايات المتحدة وهي نحو 15 مليون رطل ما زالت من أصل نباتي (ن البنجر السكري).

توضح هذه الأمثلة أهمية الميكروبات في تمثيل الغذاء وتحضيره وصناعته، وأهم من ذلك في عمليات الزراعة الأساسية. وما دمنا نعتمد على الميكروبات على هذا النحو البالغ في جميع جوانب تغذيتنا تقريبا فلماذا لا نتخلى عن الزراعة ونستغني عن تناول النبات والحيوان ثم نعيش على الميكروبات ؟ وقد يبدو السؤال أحمق ولكنه سؤال معقول تماما. وقد سأله الكثيرون مرات عديدة بأساليب مختلفة. إن الخميرة واحدة من أعظم المواد الغذائيين فهي غنية بالبروتين وفيتامينات من مجموعة فيتامين ب وفيها نصيب معقول من الدهون-كما أن نفايات الخميرة في صناعات التخمير تطرح في الأسواق وتستخدم كغذاء مساعد في أغلب البلاد الغربية تحت أسماء تجارية مختلفة. إن النقص في البروتين لا يضاهيه النقص في أية مواد غذائية أخرى في أجزاء عديدة من العالم مثل أفريقية الشرقية وأجزاء من الملايو والهند وإندونيسيا والصين. ويحصل أغلب السكان فيها على نصيب من المواد الكربوهيدراتية يقارب الحد الأدنى المعقول، ولكنهم لا يحصلون على 16 في المائة من الطعام على هيئة بروتين وهو الحد الأدنى اللازم للإنسان السليم (ويحتاج الأطفال إلى نصيب اكبر أما البالغون فيكفيهم نصيب أقل بعض الشيء). ونستطيع تخفيف وطأة هذا النقص في البروتين بتحويل الفائض من المواد الكربوهيدراتية إلى بروتين. والطريقة الواضحة في سبيل ذلك هي السماح للكائنات الدقيقة مثل الخميرة بالنمو على هذه

المواد الكربوهيدراتية. وقد تم خلال الحرب العالمية الثانية تصميم عملية لإنتاج الخميرة كغذاء في بريطانيا (واسم هذه الخميرة كانديدا يوتيليس Candida utilis). من المولاس[19] وذلك بعملية بدائية من الزراعة المستمرة. وكان للإنتاج طعم طيب شبيه بطعم اللحم المحمر. وقد أثبتت الأبحاث التي شارك فيها مجلس البحوث الطبية والقوات المسلحة أن الخميرة يمكن في الحقيقة أن تزود الإنسان العادي بأغلب البروتين اليومي اللازم في الغذاء. وكانت هناك مشكلة وهي أن الخمرة غنية جدا بفيتامينات ب بحيث يبدو الخطر من زيادة الفيتامينات لو أن الخميرة مثلت نسبة كبيرة من الوجبة. وقد كانت الاختبارات بالغة النجاح حتى أن مصنعا أقيم في ترينيداد بعد الحرب لتحضير طعام الخميرة من نفايات صناعة السكر. وقد تم استخدام المادة المنتجة في أفريقية الشرقية والهند والملايو، ولكن هاهنا الجانب الإنساني من المشكلة فقد ظهرت مقاومة هائلة لانتشار استعمالها حتى بين الشعوب التي تعاني الجوع. وكما يعرف معظم الأباء عن أطفالهم، فقدم الألفة والتعود تعتبر من أقوى العوامل التي قد تنفر الإنسان من تناول ما يصلح له. وقد انهارت خطة إنتاج خميرة الطعام بسبب التحفظ من قبل المستهلكين من جهة ولأسباب اقتصادية بسيطة من جهة أخرى. فقد حدث أن الطلب على البروتين كان يبعد عن مصدر هذه المادة مسافة نصف العالم، كما كان المستهلكون أفقر من أن يدفعوا تكاليف عملية تستلزم تكنولوجيا متوسطة التقدم. وأصبح من الأرخص بالنسبة للمنتجين استخدام المولاس في مجالات أخرى أوحى التخلص منه نهائيا. ولقد اضطر الميكروبيولوجيون مرة أخرى في الستينات إلى الالتفات إلى خميرة الطعام، وذلك كنتيجة للزيادة في سكان العالم وتجدد الدليل على النقص الواسع الانتشار في الروتين. ولدى شركة البترول البريطانية مشروع لاستخدام مكونات البترول في زراعة الخميرة. وقد نجحت هذه الشركة في استنباط سلالات مختلفة تنمو في مستحلب من البترول الخام في الماء. وتستخدم الخميرة المكونات الشمعية في البترول، وهي في الواقع تحس نوع البترول-الذي يتخلف بعد النمو-كوقود. ولما كانت المواد الشمعية-فضلا عن ذلك-هيدروكربونات نقية فهي على النقيض من سكاكر المولاس أغنى من ناحية الكربون بحيث يحصل الإنسان من رطل الشمع على ضعف الكمية تقريبا

من الخميرة التي يحصل عليها من رطل السكر. وقد قيل أن الناتج له طعم البترول الكريه، ولكن إزالة هذا الطعم ممكنة. والأساس الاقتصادي لهذه العملية أحكم لأنها تساعد في تحسين البترول كما نساعد أيضا في صناعة البروتين. ويقدر الدكتور شامبانيا (Champagnat)-وهو زعيم المتحمسين للعملية-أن تحويل نسبة 3 في المائة من إنتاج البترول في العالم إلى تحضير خميرة الطعام يمكن أن يضاعف مصدر البروتين في العالم. وعند شركة شل للبترول مشروع مشابه للحصول على البروتين من الغاز الطبيعي، وهذا الغاز هو الميثان بحيث نستطيع استخدامه في الزراعة الضخمة للبكتيريا المؤكسدة للميثان والتي يمكن أن تكون نافعة كطعام للحيوان أو كسماد أو حتى كطعام مساعد للإنسان.[20] كما اقترح الدكتور سيمور هنتر Seymour Hunter استخدام مثل هذه البكتيريا كغذاء في المزارع الضخمة للبروتوزوا والتي يمكن بالتالي تقديمها غذاء للأسماك، وبتلك نزيد الغلة من طعام بروتيني طبيعي سائغ للإنسان.

ومثل هذه المشروعات لاستنبات الخميرة كطعام أو إنتاج البروتين البكتيري إنما هي إجراءات قصيرة الأجل باعتبار أنها تستخدم مواد نباتية مثل المولاس أو مواد حفرية مثل البترول أو غاز الميثان، فغلتها محدودة-من جانب-بإنتاج السكر في العالم، ثم إننا نعلم-من جانب آخر-أن موارد النفط والغاز الطبيعي في هذا الكوكب لن تستمر إلا بضعة أجيال أخرى. أما مشروعات استنبات الطحالب على نطاق واسع فهي أدعى لسد حاجات سكان الأرض على المدى الطويل، وقد درسها معهد كارنيجي في واشنطن Carnegie ومعهد توكاجاوا Tokagawa في اليابان في الخمسينات. والطحالب أمثال كلوريللا Chlorella وسينيديزموس Scenedesmus تستخدم ضوء الشمس وثاني أكسيد الكربون في غذائها، وهي على ذلك نحل محل النباتات. وهي تنتج غلات ضخمة في كل هكتار إذا أحسن القيام عليها، ثم إن قيمتها تماثل قيمة الخميرة من نواح عديدة، أي أنها أغذية مساعدة كاملة وان كان الإنسان لن يقدمها أو يقبلها-فيما يرجو-كأغذية كاملة وحدها. إن المشكلة التي تنطبق على كل المواد الغذائية الميكروبية التي تحتاج إليها على نطاق واسع هي أنها تتطلب تكنولوجيا متقدمة نسبيا لإنتاجها وحصاد غلتها كما أن المجتمعات التي تتمتع بمثل هذه التكنولوجيا ما زالت حق الآن قادرة على

الاستحواذ على كميات كافية من أزواد الطعام التقليدية تهيئ لأفرادها تغذية طيبة إلى حد معقول. إن المشكلة الأساسية بسيطة، وهي أن المنتجات الزراعية كالحبوب أو اللحوم أو الخضراوات إنما هي أغذية مركزة بنسبة معقولة عند إنتاجها. وأفضل وأغنى مزارع الخميرة ومزارع كلوريللا وغيرها تحتوي على نسبة أقل من واحد في المائة من المحصول، والباقي ماء. كما أن إزالة ذلك الماء بالترسيب أو الطرد المركزي أو الترشيح هي التي تتطلب التكنولوجيا. وهي عملية مكلفة وتستهلك الطاقة. وقد حسب الأستاذ هـ. تاميا H.Tamiya أنه على الرغم من ذلك فان تكلفة إنتاج بروتين الكلوريللا تقل عن ثلث تكلفة إنتاج بروتين اللبن. وإذا كان الكاتب يحس في طعم الكلوريللا-حسب ذوقه-ما يذكره بطعم الإسفاناخ مع زفرة خفيفة فان الدكتور تاميا يزعم أن في الإمكان جعلها لذيذة، وقد وصف آكلات من فطائر الكوريللا والبسكويت وحتى الأيس كريم. لكن اليابان من الناحية التكنولوجية هي اكثر الأمم في الشرق الأقصى تقدما، كما أن حاجتها في الوقت الراهن لا تستدعي أحياء صناعة الكلوريللا وذلك بالرغم من زيادة السكان في هذه الدولة. وقد لا تبدو الميكروبات اليوم عند رجال الأعمال أغذية تبشر بالربح، ولكن لا بد من إطعام الناس وإلا لجأت إلى الحرب. وقد صارت الميكروبات عناصر مقررة في أغذية الحيوان، ولعلها مسألة زمن قبل أن تصبح الميكروبات نصيبا مقبولا في أغذية عامة الناس.

لقد كنا في الفصول الثلاثة السابقة أميل إلى الذاتية في تناولنا للميكروبات. وبحثنا دورها في مرضنا وصحتنا، وبحثنا كيف تناولها العلماء وعنينا أنفسنا بأهميتها فيما تأكله ونشربه. وهذه بالتأكيد أمور خطيرة تهم كل واحد منا مباشرة. لكن أهمية الميكروبات للجنس البشري تمتد إلى مدى أعمق بكثير في تركيبنا الاجتماعي واقتصادنا مما توحي به الاعتبارات اليومية. وسوف نبحث في الفصول الثلاثة التالية مسألة الميكروبات وعلاقتها بالمجتمع بدلا من علاقتها بالأفراد الذين يؤلفونه، وسنتناول أهميتها في الإنتاج الصناعي، في صناعة المنتجات وتخزينها وتوزيعها والتخلص منها. وستظهر بالطبع موضوعات الصحة والغذاء مرة بعد مرة، ولكن انتباهنا سيتركز بصفة رئيسة على تأثير الميكروبات على المكنة الاقتصادية التي تكفل بقاء المجتمع.

6 الميكروبات في الإنتاج

الميكروبات والمواد الخام:

على الرغم من الإنتاج الحالي الضخم للأغذية والمشروبات المتخمرة والمضادات الحيوية والفيتامينات والكيماويات من خلال الميكروبات، يبقى صحيحا أن أهم المنتجات الميكروبية قد تم إنجازها منذ ملايين السنين.

إن الصناعة تستهلك الطاقة، وقد اصبح من الشائع اليوم في علم الاجتماع أن نعبر عن مستوى التقدم في الأمة بمعدل استهلاك الفرد من السكان للطاقة. أننا نحتاج إلى الطاقة في كل جانب من الحضارة الصناعية، بدءا من سلق البطاطس حتى تشغيل الحاسب الآلي Computer. ويفسر هذا إلحاح الدول النامية في مجالات استخدام الطاقة المائية لتوليد الكهرباء ومحطات القوى ونحو ذلك. وحتى إنتاج الغذاء-حالما يستخدم المكنات-يصبح عملية مستهلكة للطاقة، كما أن نقص الغذاء العالمي-وقد سبق ذكره في الفصل الخامس-يمثل على نحو من الأنحاء، حالات خاصة لنقص الطاقة في العالم. ويمكن للأيدي العاملة وحدها أن تعول مجتمعا زراعيا صغيرا، ولكن سرعان ما نعتمد المجتمعات على المكنات، ومن ثم على الوقود المحرك لهذه

المكنات عندما يتعقد التنظيم الاجتماعي.

إن المصادر الرئيسية للطاقة في عالم اليوم هي الطاقة الكهربية الناتجة من الطاقة المائية والوقود من الحفريات كالفحم والغاز الطبيعي والنفط. ونستخدم الصناعة هذه المصادر للطاقة لتحويل المواد الطبيعية كالخشب ومنتجات قطران الفحم وخامات المعادن ونحوها إلى منتجات نافعة من الناحية الاقتصادية. ويمكن أن نقدم تقريرا صحيحا بالغ الدقة عن الموقف الاقتصادي العالمي إذا تناولنا الطاقة المتاحة. ويصبح التقدم الحديث في الطاقة الذرية أمرا يدعو إلى الأمل في المستقبل، ولا يدعو إلى الإدانة التي تحيطها به السياسات المعاصرة. وإذا كنا لا نستطيع-كما هو واضح-أن ندخل هنا في تفاصيل مصادر الطاقة العالمية، فان هناك مبدأين ينبغي أن نعرفهما.

المبدأ الأول هو أن تركيز المادة عملية غالية الثمن ومستهلكة للطاقة. ولنضرب مثلا بسيطا فلو أردنا الحصول على الملح من البحر لكان علينا أن نبخر الماء أو بعبارة أخرى أن نبخر 32 جراما تقريبا من الماء في مقابل الحصول على جرام واحد من الملح. وليس من المهم الآن كيف نصنع هذا، إن بالغلي أو باستخدام حرارة الشمس أو بعملية متقدمة مثل التحليل الكهربي، فالمهم أن قدرا كبيرا من الطاقة ينبغي استخدامه في التخلص من ذلك الماء. وإذا اتخذت الطاقة صورة حرارة الشمس أو الريح الجافة، كانت رخيصة ولكن الأمر يستغرق زمنا طويلا حتى يحصل المرء على النتاج الذي يجنيه بكميات صغيرة. ولو أراد الإنسان قدرا كبيرا من هذا النتاج وكان في عجلة من أمره لكان الأرخص أن يجد رواسب ملحية طبيعية وينفق الطاقة في استخراجها وحملها في العربات إلى حيث يحتاج إليها، ومن البديهي أن الحضارات المتقدمة جدا نريد قدرا عظيما من كل شيء تقريبا، وذلك في عجلة قلقة. وعلى ذلك فاستخدام المادة الخام مركزة قدر الإمكان اكثر اقتصادا للطاقة على وجه العموم. ولو كانت عندنا الطاقة بغير حدود لاستطعنا استخراج كل المواد الخام في الصناعة كالحديد والنحاس والنيكل والكبريت واليورانيوم وهلم جرا من المصادر المخففة كالبحار والصخور العادية والتربة. ولكنا لا نملك الطاقة بغير حدود ولن نملكها كذلك في هذا القرن. ويمكن بناء على ذلك أن نعبر عن المبدأ بعبارة

أخرى فنقول أن أية مواد خام مركزة كرواسب الكبريت والصودا ومناجم الحديد إنما تمثل توفيرا في الطاقة.

وفي الصناعة تنتج الأشياء من المواد الخام المركزة، وهذا ينتهي بنا إلى المبدأ الثاني. أن نتائج استعمال المواد كالحديد والنحاس والكبريت ونحوها هي توزيعها في أنحاء العالم، ومن ثم تخفيفها، أي أن اتجاه الصناعة كله هو أن يتناول المواد المركزة ويجعلها مخففة نتيجة لاستعمالها. وسوف نبحث أمثلة عديدة لهذين المبدأين في هذا الفصل والذي يليه.

تكمن الأهمية الأولى للميكروبات في الصناعة إذن في أنها-خلال عصور جيولوجية سحيقة في القدم-قد زودت الجنس البشري بأرصدة عديدة مركزة من المواد الهامة في الصناعة. وقد ارتبطت الميكروبات بجوانب هامة من تطور اثنين من وقود الحفريات، كما كانت مسئولة عن ترسب كثير من المعادن الهامة. وقد نمي موضوع كامل يسمى الميكروبيولوجيا الجيولوجية geo-microbiology يتناول دراسة دور الميكروبات في تكوين موارد الوقود والمعادن. وسنبحث هذا الموضوع في الجزء الأول من هذا الفصل، ونلاحظ كيف أن الميكروبات منذ ملايين السنين قد أسهمت في تزويدنا اليوم بحاجاتنا الصناعية الأساسية.

ولعل الكبريت أثبت المعادن التي نشأت من النشاط الميكروبيولوجي. وتستهلك كل الصناعات الرئيسية الموجودة تقريبا حمض الكبريتيك لسبب أو لآخر. فهذا الحمض يستخدم في صقل المعادن والطلاء بالكهرباء ومعالجة الألياف الصناعية وتحضير المخصبات الزراعية وصناعة كل أنواع الكيماويات والمستحضرات الصيدلانية واستخراج الخامات المعدنية وهلم جرا. وقد قيل أن الطلب القومي على حمض الكبريتيك في بلد من البلاد يعد معيارا لدرجتها في التصنيع. وأيسر طريقة لصناعة حمض الكبريتيك هي حرق الكبريت لتوليد أكاسيد الكبريت وجعل الأخيرة تتفاعل مع الماء. ونستطيع توليد أكاسيد الكبريت بوسائل أخرى مثل حرق بايريت الحديد (كب$_2$ ح-FeS2) أو تسخين كبريتات الكالسيوم (وهي الجبس المعدني) مع فحم الكوك والرمل. ولكن الكبريت الطبيعي اكثر مصادر الكبريت الممكنة تركيزا، ويتمشى مع مبدئنا الأول السابق ذكره، فهو اكثر المواد الخام اقتصادا من ناحية الطاقة المستهلكة في الحصول عليه. وهناك حاجة إلى قليل من

الكبريت المعدني في الصناعة كعامل مقو في إنتاج المطاط وصناعة الثقاب أو بعض الكيماويات. ويستخدم قليل منه أيضا في الطب وزراعة الحدائق، ولكن لصناعة حمض الكبريتيك منه أو في نصيب. ويقدم لنا الكبريت في هذا المجال مثلا طيبا جدا عل مبدئنا الثاني ؛ وبالرغم من أن حمض الكبريتيك يستخدم على نطاق واسع فان قدرا قليلا جدا منه يظهر في المنتجات الصناعية النهائية. وليذكر الإنسان المراكمات الكهربية التي تحتوي على حمض الكبريتيك الطليق أو بعض المنظفات التي هي مشتقات عضوية لحمض الكبريتيك-ولكن حمض الكبريتيك-على الأغلب الأعم-يستخدم أثناء عملية الإنتاج، ولا يدخل في تركيب المنتجات النهائية. وعلى ذلك فهذا الحمض-حين استخدامه-يهدر، بل ويلقى به أحيانا في المجارى. ويتم التخلص منه بوسيلة أو بأخرى ثم يسلك سبيله في النهاية إلى البحر على صورة كبريتات الصوديوم أو الكالسيوم. ويختفي قدر كبير من الكبريت في الجو. أن كل أنواع الوقود تقريبا-كالفحم والزيت والخشب-تحتوي على مركبات الكبريت التي تلوث الجو بأكاسيد الكبريت عند احتراقها. (وهذا هو السبب في أن أقمشة الستائر والأحجار والمصنوعات المعدنية تتآكل بسرعة كبيرة في المدن، وهو كذلك أحد الأسباب في أن سكان المدن أكثر تعرضا للنزلات الشعبية لأن أكاسيد الكبريت تتلف أغشية الرئتين). أن خمسة ملايين طن من الكبريت تلوث الهواء فوق بريطانيا سنويا وتجرفها الأمطار في النهاية نحو التربة والأنهار والبحار. ومن المحتمل أن تنتهي دورة الكبريت التي بحثناها في الفصل الأول إلى فقد الكبريت من اليابسة إلى البحر. وبصفة عامة فنمط حركة الكبريت يزودنا بمثل جلي جدا على أن الحضارة تأخذ موردا طبيعيا مركزا ثم تخففه.

ومطالب الدول الصناعية من الكبريت-الذي يتحول بصفة رئيسة إلى حمض الكبريتيك-هائلة ففي عام 1951 كانت الولايات المتحدة الأمريكية تستهلك نحو خمسة ملايين من الأطنان سنويا، كما كانت بريطانيا تحتاج نحو نصف مليون طن وان لم تتمكن من الحصول بسبب النقص العالمي في الكبريت. وتوجد رواسب العالم من الكبريت الطبيعي بصفة رئيسة حول خليج المكسيك وفي تكساس ولويزيانا وبعض أجزاء المكسيك نفسها. كما توجد رواسب أخرى في صقلية وإيسلاندة وأفريقية الشمالية ومنطقة

الكربات في روسيا ولكن 95 في المائة تقريبا من أزواد العالم تأتي من منطقة الخليج (خليج المكسيك) ويوجد معدن الكبريت في رواسب محددة إلى حد ما تسمى القباب domes، ويرتبط في وجوده دائما بكبريتات الكالسيوم، ولا يكون النفط بعيدا منه عادة. ويبدر السؤال: كيف ظهر الكبريت حيث كان، ولماذا يرتبط دائما بتكوين جيولوجي خاص ؟ أما الإجابة الثابتة المعقولة فيما يبدو فهي انه تكون نتيجة النشاط الميكروبي المركز خلال حقب جيولوجية من الدفء وأشعة الشمس، ربما أثناء جفاف أحد البحار. والمعروف أن البحر الكاريبي كان يمتد بعيدا في الولايات الجنوبية من الولايات المتحدة الأمريكية، وفي المكسيك منذ 200 مليون سنة (وما زال من غير المؤكد أن كان ذلك في العصر البرمي Permian أو العصر الجوراس Jurassic)، وربما تكونت معظم رواسب العالم حوالي ذلك الزمن. وقد استخدمت البكتيريا المختزلة للكبريتات المواد العضوية لاختزال كبريتات الكالسيوم إلى كبريتيد الكالسيوم في ماء البحر بينا كان يجف. ثم تأكسد كبريتيد الكالسيوم بدوه إلى كربونات الكالسيوم والكبريت الحر. وربما تم ذلك بوساطة بكتيريا الكبريت التي تقوم بالتمثيل الضوئي. وعلى ذلك تكون دورة الكبريت-التي قابلناها في الفصل الأول-قد استمرت حتى بلغت الكبريت، وليس ابعد من ذلك ؛ بحيث تم اختزال الكبريتات وتراكم الكبريت. أما السبب في أنها لم تتقدم ابعد من ذلك فيكاد يكون من المؤكد أنه راجع إلى غياب الأكسجين. فقد أدى تجفيف البحر إلى تركيز المادة العضوية حيث نمت عليها الميكروبات واستهلكت كل الأكسجين المذاب. وقد ولدت البكتيريا الملونة-إضافة إلى ذلك-قدرا اكبر من المادة العضوية بوساطة عملية التمثيل الضوئي من ثاني أكسيد الكربون، واستخدام ضوء الشمس. وكذلك تكون حوض ملحي لا هوائي هائل تبلورت فيه كبريتات الكالسيوم وترسب الكبريت كما تكونت رواسب من المواد العضوية الميكروبية لعلها أسهمت في تكوين النفط فيما بعد.

كيف عرفنا هذا ؟ هناك سبيلان لإثبات ذلك، أحدها أننا نستطيع أن نرى مثل هذه العملية تحدث حتى اليوم في بعض مناطق العالم. وهناك في ليبيا في شمال أفريقية عدد من البحيرات (قريبا من قرية العقيلة) حيث تتبثق من الينابيع المياه الارتوازية الدافئة الغنية بكبريتات الكالسيوم والتي

تحتوي على كبريتيد الأيدروجين. وتسمى إحدى هذه الينابيع عين الزاوية وتقارب مساحتها مساحة حوض للسباحة ومياهها تميل إلى الدفء (30 درجة مئوية) كما أنها مشبعة بكبريتات الكالسيوم وتحتوي على 2,5 في المائة تقريبا من كلوريد الصوديوم، وهي نسبة معقولة قريبة مما يوجد في بحر دافئ آخذ في الجفاف أخذت وان كانت هذه المياه أقل ملوحة. وتنتج هذه البحيرة تحت شمس ليبيا نحو 100 طن من الكبريت الخام سنويا على هيئة طين دقيق رمادي أصفر، ويجمعه أهل المنطقة من البدو(ويصدرون بعضه إلى مصر، أو هكذا كانوا يفعلون عندما كنت هناك عام 1950 وهم أنفسهم يستخدمونه كعلاج) أما كيفية تكوين الكبريت فهي كالآتي: تختزل البكتيريا المختزلة للكبريت الكبريتات المذابة إلى الكبريتيد على حساب المادة العضوية التي تنتجها بكتيريا الكبريت الملونة، وكانت هذه الأخيرة بدورها قد صنعت المادة العضوية من ثاني أكسيد الكربون مستخدمة ضوء الشمس والكبريتيد الذي يأتي بعضه من مياه الينابيع وبعضه الأخر من نشاط البكتيريا المختزلة للكبريتات. وعلى ذلك نحصل على الكبريت الذي يتولد من الكبريتات بواسطة مجموعتين من البكتيريا تعتمد كل منهما على الأخرى، وتحرك الطاقة الشمسية هذه العملية كلها. ويتكون مهاد البحيرة من طين احمر جيلاتيني مكون كله تقريبا من بكتيريا الكبريت الملونة.أما محتوى البحيرة فهو معلق غروي من الكبريت وهو غني بالبكتيريا المختزلة للكبريت. ونفوح من المخلوط كله رائحة قوية لكبريتيد الإيدروجين.

وقد أخذنا عينات من هذه البحيرة عند رجوعنا إلى مختبر بريطاني عام 1950. ثم حفرنا ماء لبحيرة صناعية(يماثل في تركيبه المياه الحقيقية) وأنشأنا بحيرة كبريتية صناعية مشابهة صغيرة تسع نحو 10 جالونات. وعند تسليط الضوء عليها تكاثر الطين الأحمر الجيلاتيني وتكون الكبريت. وقد تمكنا من زيادة السرعة في تكوين الكبريت إلى درجة ملحوظة بتغيير الظروف إلى حد ما.

ومثل هذه البحيرات وينابيع الكبريت موجودة في أمكن مختلفة من العالم. وإذا كنا في الحقيقة نستطيع عزل البكتيريا المناسبة منها وحتى تكوين الكبريت بيولوجيا في المختبر فان ذلك من القرائن القوية المؤيدة للاعتقاد بأن هذه هي الطريقة التي نشأت بها أغلب رواسب الكبريت.

ولكن هناك دليلا أقوى. فقد بين الأستاذ هـ. ثود H.Thode من كندا حوالي سنة 1950 أن انفصالا حدث في نظائر الكبريت الطبيعي المشعة أثناء تكوين الكبريتيد بيولوجيا وأن مثل ذلك الانفصال لم يحدث أثناء الاختزال الكيماوي للكبريتات.

وربما وجب عين أن أتريث لحظة وأشرح معنى «النظائر المشعة» لغير الكيماويين. أن كل العناصر تقريبا مثل الأيدروجين والأكسجين والنتروجين والكبريت توجد في الطبيعة كأخلاط من ذرات أغلبها ذات كتلة معينة، ولكن قلة منها لها كتلة مختلفة. فالكبريت فلا يتكون بصفة رئيسة من ذرات أثقل من ذرة الأيدروجين باثنين وثلاثين مرة. ولكن 2 في المائة تقريبا من هذه الذرات أثقل من ذلك، إذ أن الذرة الواحدة منها اثقل من ذرة الأيدروجين 34 مرة. ويمكن الكشف عن هذه النظائر وقياسها بجهاز يسمى المقياس الطيفي للكتلة. ونسبة هذه النظائر متشابهة أيا كان التكوين الكيماوي للكبريت: على هيئة كبريتيد أو كبريتات أو ثيوكبريتات أو مركبات كبريتية عضوية مثلا. هذه النسبة متشابهة ولكنها غير متماثلة. ذلك بان «ثود» لاحظ أن الكبريتيدات والكبريتات الموجودة في النيازك والبراكين-حيث لا مجال لوجود الفعل البيولوجي-ذات نسب متماثلة من النظائر بين ذراتها من الكبريت. وكذلك كانت المعادن المحتوية على الكبريت المستخلصة من طبقات جيولوجية ترسبت قبل ظهور الحياة على هذا الكوكب. لكن الكبريتيد الناتج في مزارع البكتيريا المختزلة للكبريتات أو في البيئات الطبيعية حيث تكون البكتيريا المختزلة للكبريتات نشيطة كان أغنى في النظائر الخفيفة الوزن وكانت الكبريتات المتخلفة أغنى في النظائر الأثقل وزنا. ويبدو-لسبب ما-أن اختزال البكتيريا للكبريتات أدى إلى فصل النظائر الطبيعية للكبريت عن بعضها بدرجة لا يستهان بها. والكبريت البركاني نسبة النظائر فيه هي نسبة النظائر «الطبيعية» أو النيزكية. أما رواسب الكبريت في تكساس ولويزيانا وتلك التي في صقلية والعينات المرسلة من عين الزاوية في ليبيا فان نسبة النظائر فيها هي النسبة البيولوجية.

وعلى ذلك تقدم تجارب النظائر دليلا طيبا جدا عل أن البكتيريا كانت مسئولة عن تحويل الكبريتات إلى كبريتيد أثناء تكوين مصادر الكبريت الكبرى في العالم. ولكنها لا تقدم دليلا على ارتباط هذه الميكروبات بالخطوة

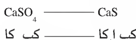
التالية وهي أكسدة الكبريتيد إلى الكبريت. ويعتقد بعض الثقات أن البكتيريا لا علاقة لها بذلك، وان الأكسدة بوساطة الهواء أو أن تفاعلا كيماويا بطيئا من الكبريتيدات والكبريتات يكفي لتفسير تكوين الكبريت. وقد قدم الباحثون الروسيون دليلا طيبا على أن 80 في المائة من الكبريت الموجود في الرواسب الكارباتية إنما نشأت بفعل ثيوباسلس thiobacilli، (التي صادفناها من قبل في الفصل الثاني وهي بكتيريا لا لون لها تستطيع أكسدة الكبريتيد في الهواء إلى الكبريت ثم تصنع بعد ذلك عادة حمض الكبريتيك). أما فيما يتعلق بما حدث في الحقب الجيولوجية قديما فلعلها مسالة لن تحل أبدا، لكن الجمال في تصور الخطوة الثانية كخطوة بيولوجية يكمن في أنه يفسر كيف حصلت البكتيريا المختزلة للكبريتات على الطاقة اللازمة لاختزال الكبريتات. لقد حصلت عليها من مركبات الكربون التي أنتجتها بكتيريا الكبريت الملونة أو أنتجها ثيوباسلس (التي لا لون لها) من ثاني أكسيد الكربون.

لقد وصفت تكوين الكبريت أبان انحسار البحر عما أصبح الآن تكساس ولويزيانا وبعض مناطق المكسيك. وينبغي أن أضيف أن بعض الجيولوجيين يعقد أن التبخر حدث أولا ثم قامت البكتيريا باختزال الكبريتات بعد زمن طويل حين تسرب البترول في طبقات كبريتات الكالسيوم، إذ يعتقد بعض الثقات أن هذه البكتيريا تستطيع استخدام البترول كمصدر للطاقة. ونحن هنا لا نستطيع مناقشة الأدلة المؤيدة والمعارضة لهذه الآراء، ولكننا نسجل فحسب أنه لا يشك إنسان في ارتباط البكتيريا المختزلة للكبريتات بالخطوة الأولى في تكوين الكبريتيد من الكبريتات.

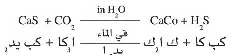
لقد أدت حقيقة أن ترسيب الكبريت في الطبيعة قد حدث بيولوجيا إلى اقتراحات لإنتاج الكبريت صناعيا باستخدام البكتيريا. وسنبحث هذه الإمكانات فيما بعد في هذا الفصل.

وتمثل الصودا أو كربونات الصوديوم-التي تستخرج في مناطق مختلفة من العالم-ثانية الرواسب المعدنية الهامة التي تكونت بفعل البكتيريا. وتلعب البكتيريا المختزلة للكبريت أيضا دورا في هذه العملية التي تحدث عندما يفشل تكوين الكبريت على نطاق واسع. ولو حدث-لسبب ما-أن اختزلت الكبريتات بصورة ضخمة في الطبيعة بوساطة البكتيريا فان كبريتات

الكالسيوم هي التي يتم اختزالها عادة لأن هذا الملح واحد من أشيع الكبريتات المعدنية، وهو المسئول عن عسر الماء الدائم. وإذا كنا حتى الآن قد تحدثنا عن اختزال «الكبريتات» إلى «الكبريتيد» على سبيل الإيجاز فان كبريتات الكالسيوم هي التي يتم اختزالها عادة إلى كبريتيد الكالسيوم. ويمكن أن نكتب التفاعل بالرمز الكيماوي على النحو هذا النحو:



وإذا وجد ثاني أكسيد الكربون-وهو موجود دائما نتيجة لتنفس الميكروبات-فإن بعض كبريتيد الكالسيوم هذا يتفاعل معه فينتج كبريتيد الأيدروجين.



ولكبريتيد الأيدروجين رائحة البيض الفاسد الكريهة المميزة كالتي تفوح من البيئات الملوثة. أما الناتج الآخر فهو كربونات الكالسيوم أو الطباشير. وفي بعض البيئات تكون كبريتات الصوديوم هي الكبريتات المعدنية الرئيسة كما يحدث في وادي النطرون في مصر، ويكون الناتج النهائي في هذه الحالة كربونات الصوديوم أو الصودا. وقد درس الدكتور عبد الملك وادي النطرون وقدم دليلا طيبا على أن هذا الرأي في تكوين الصودا صحيح ؛ ذلك بان أعداد البكتيريا المختزلة للكبريتات في نطاق رواسب الصوديوم تزيد كلما ازدادت الرواسب قوة.

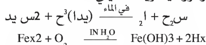
وتتكون الكبريتيدات حيثما تنشط البكتيريا المختزلة للكبريتات ولكن نشاطها يظل في نطاق محدود لأن هذه البكتيريا لا تعمل في وجود الهواء (كما ذكرنا في الفصل الثاني، فهي بكتيريا لا هوائية بصورة إجبارية)، وهي تحتاج إلى مدد طيب من المادة العضوية والكبريتات حتى تثبت أقدامها، وان كانت حال توطدها تميل إلى الحفاظ على وجودها لأن الكبريتيد سام نوعا للكائنات الحية الأخرى التي تموت من أجل ذلك وتؤدي بتحللها إلى زيادة المادة العضوية المتاحة للبكتيريا المختزلة للكبريتات. وقد تنمو بكتيريا

الكبريت الأخرى-كما رأينا في الفصل الأول-ونحصل على نظام بيئي محدود يعتمد على دورة الكبريت ونسميه النظام الكبريتي Sulfuretun. ولعل رواسب الكبريت العالمية تكونت كأجزاء من النظم الكبريتية العملاقة. فالصودا-كما رأينا لتونا-يمكن أن تتكون لو أن النظام الكبريتي استقر في بيئات معينة. وتحتوي معظم المياه في اليابسة الآن على الحديد الذائب، وبعضها يحتوي أيضا على النحاس والرصاص الذائبين. وحين تصادف مثل هذه المياه نظاما كبريتيا فان تفاعلا كيماويا يحدث على الفور إذ يتفاعل المعدن الذائب مع كبريتيد الأيدروجين وينتج كبريتيد المعدن. وتنفصل هذه المادة على هيئة راسب. ويعتقد أن كثيرا من مصادر الكبريتيدات المعدنية في العالم قد تكون على هذا النحو. ولعل خامات اليورانيوم قد تركزت بهذه الطريقة. ويوجد النحاس والرصاص بصفة رئيسة كخامات معدنية من الكبريتيد، وقد أمكن تقليد تكوينها في المختبر. ولكن التجارب المعملية الهادفة إلى تقليد الطبيعة لا تثبت بالضرورة أن الطبيعة قد سلكت في الواقع ذلك السبيل. أن التجارب الخاصة بتوزيع النظائر التي حققت الأصل البيولوجي للكبريت الطبيعي لم تتم-فيما أعلم-على النحاس والرصاص وغيرها من خامات الكبريتيدات المعدنية، ولذلك تكون النظرية القائلة بتكوينها بيولوجيا غير قائمة على أساس مكين.

ونستثني من ذلك حالة الحديد-إذ يوجد كبريتيد الحديد في كثير من الرواسب البحرية والأماكن التي عمل فيها النظام الكبريتي، وعادة ما يكون توزيع النظائر «بيولوجيا» في الكبريت الموجود في مثل هذه الرواسب من كبريتيد الحديد. وبريتات الحديد من المعادن الهامة التي تحتوي على الحديد. والمعروف أن هذه تكونت جيولوجيا من رواسب كبريتيد الحديد عن طريق معدن متميئ hydrated يسمى هيدروتر وليت hydrotroilite. ولا تعنينا هنا الكيمياء الدقيقة للعملية. وزبدة الموضوع أن بيريتات الحديد لها أصل بيولوجي يرجع مرة أخرى إلى حد كبير إلى البكتيريا المختزلة للكبريتات (ورمز بيرتيات الحديد الكيماوي كب $_2$ح-2Fes على خلاف كبريتيد الحديد كب ح Fes). أما الحضائر البيريتية pyritized fossils-التي تحولت إلى بيريتات محتفظة بصورتها الأصلية-فلعلها نشأت لأن الكائن المتحلل أدى إلى توطد القليل من النظام الكبريتي. وعلى ذلك انطبعت صورة الأجزاء الأصلب من

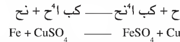
المخلوق الميت عندما نز الحديد الذائب ذرة بعد ذرة في النظام الكبريتي [1]. لكن الأهمية العظمى لبيريتات الحديد هي استخدامها بديلا من الكبريت في صناعة حمض الكبريتيك. ويمكن حرق البيريتات لتوليد أكاسيد الحديد وأكاسيد الكبريت الغازية، ويمكن تحويل هذه الغازات الأخيرة بسهولة إلى حمض الكبريتيك على نطاق صناعي. وقد تمت صناعة سدس المليون والنصف من أطنان حمض الكبريتيك التي تستهلكها بريطانيا تقريبا من البريتات عام 1950. وليست العملية اقتصادية كتلك التي تستخدم الكبريت الطبيعي، ولكن استخدامها يزداد كلما قل الكبريت وغلا ثمنه.

البكتيريا المختزلة للكبريتات فائقة الأهمية إذن في نشأة العديد من مصادر العالم المعدنية، ولكنها ليست الميكروبات الوحيدة المرتبطة بذلك. إن هناك خاما معينا من الحديد النقي يسمى حديد المستنقعات bog iron ويوجد على حواف المستنفعات. ويتكون من خلال فعل بكتيريا الحديد التي تحدثنا في أيجاز عنها في الفصل الثاني. ولهذه البكتيريا خاصية أكسدة الحديد المذاب في صورة الحديدوز إلى الحديديك الذي يقل ذوبانه في الماء ؛ ولذلك يرسب على هيئة راسب يشبه الصدأ. ويمكن كتابة ذلك في رموز كيماوية كما يلي:



حيث ترمز س X إلى أنيون [2] أحادي Monovalent anion مثل مشتق عضوي (قد يتذكر غير الكيماويين أننا رأينا في الفصل الأول أن الحديد يوجد في صورتين إحداهما نتكون نتيجة فعل الأكسجين في الصورة الأخرى وتكون أقل ذوبانا) والمياه التي تنز من الهشيم المتحلل في المستنقعات مثلا غنية نسبيا بالحديدوز وهي حامضة نوعا ما. وعندما تنساب مثل هذه المياه في منطقة طباشيرية مثلا وتصبح متعادلة فان بكتيريا الحديد تنمو بأعداد كبيرة، ويمكن مع الزمن أن تكون رواسب ضخمة من خام الحديد. وليس من الواضح كما رأينا في الفصل الثاني لماذا تصنع البكتيريا ذلك. [3] ويبدو من الخطأ التفسير القائل بان أكسدة الحديدوز تمكن هذه البكتيريا من أن تتغذى ذاتيا ومهما يكن من شيء فان الناتج الحديدي شديد النقاوة، ولعله كان أول خام معدني يستخدمه الجنس البشري. بسبب نقاوته وسهولة

العثور عليه. وقد زودت البكتيريا من جنس سفيروتيلاس Sphaerotilus وليبتوثريكس Leptothrix وغيرها من بكتيريا الحديد الجنس البشري بوسائل الانتقال من العصر الحجري إلى العصر الحددي. هناك اليوم بالطبع أنواع أخرى من خام الحديد تستخدم بصفة رئيسية في الصناعة؛ فلم يعد هناك متبقيا قدر كاف من حديد المستنقعات. ولكن عملية تكوين حديد المستنقعات ما زالت تشاهد كثيرا على نطاق صغير حيث تخرج مياه الهشيم والمياه الغنية بالحديد من الينابيع والمستنقعات فتصنع راسبا بنيا صدئا على الأحجار والصخور. ومن المحتمل أن بعض رواسب أكاسيد المنجنيز تكونت بطريقة مشابهة. وتحدث عملية معقدة بفعل البكتيريا في التسرب الطبيعي للبيريتات. وسنرى في الفصل السابع كيف تحتوي مناجم الفحم والذهب على طبقات من بيريتات الحديد، وكيف أن أنواعا معينة من بكتيريا الكبريت (ثيوباسلس فيرو أوكسيدانس Thiobacillus ferro-oxidans) تؤكسد هذه البيريتات لننتج-من بين أشياء أخرى-حمض الكبريتيك الذي يسبب تآكل الأنابيب ويتلف مكفات التعدين. وتنمو هذه الميكروبات في نفايات البيريتات خارج المناجم وتجعل البيئة حمضية، فتذوب كمية اكبر من البيريتات-لأن الحمض يساعد على تحلل البيريتات-والكبريت الطليق، أحد النواتج في هذا التفاعل. ثم يتأكسد هذا الكبريت أيضا بوساطة ثيوباسلس ثيو أوكسيدانس-Thiobacillus thio oxidans فينتج كذلك مزيدا من حمض الكبريتيك. وعلى ذلك نحصل على نظام قائم طريف حيث تتخلل مياه الأمطار النفايات وتجرف معها الحديد المذاب وحمض الكبريتيك بمساعدة البكتيريا. وتكون المياه الناتجة بنية اللون وتبدو صدئة. وتحتوي كل رواسب البريتات على النحاس بكميات قليلة وهو معدن قيم يخرج على هيئة كبريتات النحاس. لذلك فقد نشأت صناعة فرعية لاستخلاص النحاس بإمرار المياه المحتوية على المعادن الذائبة على نفايات الحديد حيث يذوب الحديد ويترسب النحاس. والتعبير الكيماوي:



ح + كب ا٤نح ـــــ كب ا٤ح + نح

$Fe + CuSO_4 \longrightarrow FeSO_4 + Cu$

وهو تفاعل يعرفه كل تلميذ. ثم تُحوِّل بكتيريا الحديد كبريتات الحديدوز فيما بعد إلى أكاسيد الحديديك التي تستقر على هيئة راسب يسمى المَغْرة

Ochre وتستخدم في صناعة الأصباغ. وعلى الرغم من أن إنتاج المغرة بهذه الطريقة يفوق الحاجة كثيرا إلا أن النحاس الموجود يكفي من ناحية القيمة لتكون العملية مجدية. وتشير التقارير في الأبحاث الأمريكية إلى أن المولبدنم والتيتانيوم والكروم والزنك يمكن تركيزها من طبقات البيريتات ثيوباسلس فيرو أوكسيدانس Thiobacillus ferro-Oxidans. ومن المهم بصفة خاصة في مستقبل الطاقة الذرية أن اليورانيوم يمكن الحصول عليه بطريقة مشابهة من خامات الكبريتيد ذات الدرجة المنخفضة. وقد ظهرت في فرنسا عام 1964 دعوى مدهشة تزعم أن بكتيريا هوائية من منتجات الجراثيم أمكن عزلها من تربة المناطق الحارة وأنها تستخلص الذهب من تجمعات في التربة تسمى تربة اللاتريت Laterites، ولكن عين أن أذكر أن كميات الذهب الذائبة كانت ضئيلة جدا، وذلك قبل أن يندفع القارئ في استثمار مدخراته في مشروع ميكروبيولوجي لتعدين الذهب.

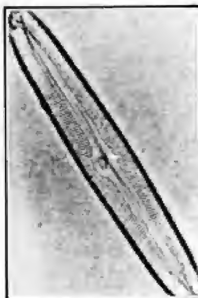


left: Chlorella, an alga.
(× about 1,650)
(Botanical Institute of the University of Frankfurt, Main)

الكلوريلا ←
مكبرة نحو ١٦٥٠ مرة
(معهد النباتات في جامعة
فرانكفورت / ماين) .

left: Pinnularia, a green diatom. (× 650)
(Ralf Barckhausen)

→
البينولاريا
وهو طحلب أخضر مكبر
٦٥٠ مرة (رالف
باركاوزن) .







البراميسيوم
وحيد الخلية مكبر نحو ٤٤٠ مرة (رالف باركلاز ون) .

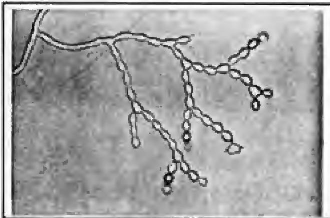




كولبودا
وحيد الخلية مكبر نحو ٦١٥ مرة (رالف باركاوزن) .



سكّار ومايسس سيرفيسياي خميرة يشيع استعمالها في صناعة المشروبات الخفيفة .



مونيليا فراكتيكولا **Monilia fructicola** فطر ثمري يسبب تعفن الفاكهة . يشير السهم الى بذرة في دور التكوين (مكبر نحو ٢٦٠ مرة) (إيلان هارز - جامعة بريستول) .

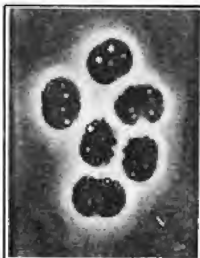




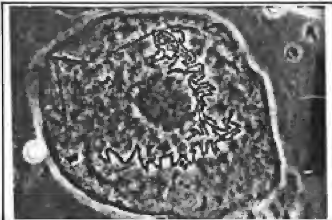
سفيروتيلاس ناتانس
Sphaerotilus natans
بكتيريا الحديد مع بكتيريا أخرى في ماء المجاري
(مكبر نحو ٢٦٥٠ مرة)
توماس جاير .



كروماتيوم أحمر
Chromatium red
وهو من بكتيريا الكبريت ذات التمثيل الضوئي وتبدو فيها حبيبات الكبريت داخل كل كائن (مكبر نحو ٤٤٠٠ توماس جاير) .





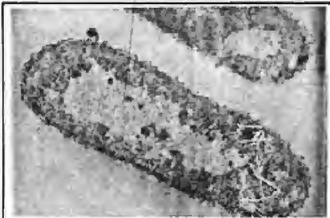


الصورة إلى أعلى : رايزوبيوم لوبيناي **Rhizobium lupini** صورة بالميكروسكوب الاليكتروني للبكتيريا التي تصنع حبيبات على النباتات البقلية ثم تثبت النيتروجين (مكبرة نحو ١٦٠٠٠ مرة ميشيكوميتاني) الصورة إلى أسفل : مكورات سبحية نامية على خلية طلائية من فم الانسان مكبرة نحو ١٤٩٠ توماس جاير) .



الصورة إلى أعلى : بكتيريا كليبسيلا إيروجينز وقد بدأت تكوّن مستعمرات على الملام المُغَذّي (جون هنتر ، سالسبوري) .

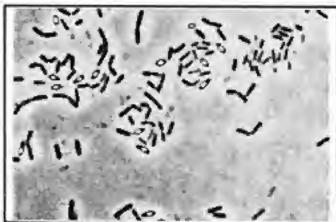




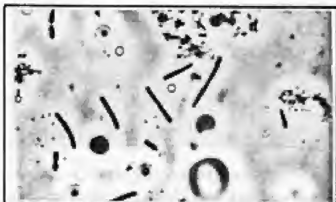
الصورة إلى أعلى ـ كلوستريديوم تيتاني Chlostridium terani وهو ميكروب الكزاز (التيتانوس) وقد بدأت تتكون رؤوس البذور مكبرة نحو ٦٧٥ مرة (معهد الصحة العامة في فرانكفورت) .

الصورة إلى أسفل : لاقم البكتريات ؟

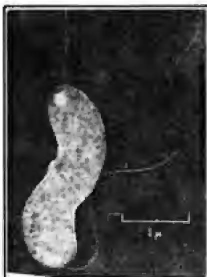
صورة لجزيئات الفيروس البكتيري حول حافة ايشيرياكولاي مكبرة نحو ٣٨٠٠٠ مرة .



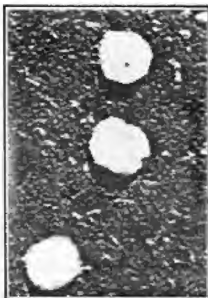
الصورة إلى أعلى : باسيلّس سايتيلس **Bacillus subtilis** وهو من البكتيريا الشائعة التي يحملها الهواء والأشكال البيضاوية تصور البذور وبعضها في دور التكوين . (مكبرة نحو ١٤٠٠ مرة - كراولوردس دو ، جامعة واريك) .



عصيات اللبن **Lacto bacilli** مع سلسلة قصيرة من الكورات السبحية أما الدوائر البيضاء فهي حبيبات دهنية (مكبرة نحو ١٢٠٠ مرة كراولوردة دو) .



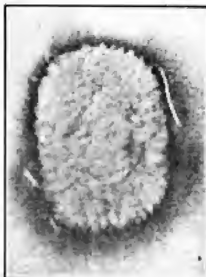
ديسلفو فيبريو ديكسلفوريكانس Desulfovibrio desulfuricans وهي البكتيريا المختزلة للكبريتات من بحيرة كبريتية في امريكا الشمالية (أ . ل . هورنيك ، دلفت) .



فيروس الجدري Smallpox ، مكبر نحو ١٥٠٠٠٠ مرة (معهد الصحة العامة فرانكفورت) .

فيروس جدري البقر Cowpox virus وهو غير ضار نسبيا ويعطي مناعة ضد الجدري (معهد الصحة العامة ـ فرانكفورت) .

right: The virus of cowpox, which is relatively harmless and confers immunity to smallpox.
(Hygiene Institute of Frankfurt/Main)
bottom: Sewage being vigorously aerated to encourage purification by the activated sludge process.
(L. H. Thompson, Greater London Council)





فضلات المجاري وهي تتعرض للتهوية العميقة لتشجيع التنقية بوساطة الوحل المنشط (ل . هـ . تومسون،المجلس الأعلى في لندن) .

سنبحث موضوع الفحم وهو الوقود الأساسي في الثورة الصناعية حتى نعود إلى موضوعنا الافتتاحي ؛ وهو أن أهم الأنشطة الاقتصادية للميكروبات تمت منذ أحقاب جيولوجية في الماضي. وقد أصبحت عملية تكوين الفحم اليوم مفهومة تماما. فقد ترعرعت-منذ 300 مليون سنة في فترة جيولوجية تعرف بالحقبة الكربونية-غابات ضخمة من نباتات معظمها يشبه حزازيات وسراخس اليوم، ولكنها كانت عملاقة في الحجم. وكانت البيئة دافئة رطبة تنتشر فيها المستنقعات والأوحال، وإذ ماتت النباتات الخضراء وتحللت كونت كرمة هائلة من بعض السماد استهلكت البكتيريا فيه على الفور كل قدر من الأكسجين نفذ إليه. وعلى ذلك حدث تخمر لا هوائي، وتولد غاز الميثان-غاز المستنقعات-بينا تحولت نفايات النباتات إلى مواد لها تركيب كيماوي غير معروف بدقة تسمى الأحماض الدبالية Humic acids وما زالت هذه العملية تجري إلى اليوم. فالهشيم peat ناتج من مثل هذا التحلل في المستنقعات بعد جفافه، وهو نفسه وقود قيم. ولسان النار The will-o-the wisp [(4)]وهو شعلة من الميثان المحترق تراقص فوق مستنقع الهشيم-عنصر هام في المأثورات الشعبية الأيرلندية، والغريب أنها ظاهرة طبيعية حقيقية وان كانت ظاهرة نادرة. والأحماض الدبالية من الناحية الكيماوية بعيدة بالفينول وهو المطهر الذي صادفناه في الفصل الثالث، ولها خصائص حافظة من حيث أنها تثبط النشاط البكتيري رغم أنها قد أنتجت بفعل الميكروبات في المادة النباتية. وهذا هو السبب في أن المعادن والمصنوعات الخشبية وحتى الجثث تبدى تحللا ضئيلا إلى حد مدهش بعد انتشالها من مستنقعات الهشيم.

الهشيم إذن مرحلة مبكرة في تكوين الفحم. وهو من الناحية الكيماوية مادة نباتية تتكون بصفة رئيسية من الكربون والأيدروجين والأكسجين، وان كانت قليلة الأكسجين، غنية بالكربون والأيدروجين، بحيث تحرق بسهولة في الهواء عند جفافها. وفي الحقبة الكربونية حين تعاقبت الألوف بعد الألوف من السنين تراكمت على رواسب الهشيم طبقات الرمال والصخور فتعرضت الرواسب للضغط. ولما زاد الضغط تحول الهشيم إلى الفحم، وكان في البدء فحما بنيا أو ليجنايت Lignite وهو أشبه بالهشيم من ناحية التركيب، ثم تحول إلى الفحم اللين المعروف الذي يستخدمه عامة البريطانيين

بإشراف على نطاق واسع (حتى يلوثوا جوهم بشفط الهواء الدافئ إلى أعلى المداخن وهم يظنون انهم يدفئون منازلهم. ومعذرة للقراء على حدة تعبيري). ثم تكون الفحم النفي جدا المسمى بالأنتراسيت Anthracite ضغط عال جدا. وأثناء عملية الضغط هذه أنتجت طبقة سمكها قدم واحد مثلا من الهشيم، بوصة تقريبا من الفحم. ثم تعرض الناتج لتغيرات كيميائية إضافية، فصار غنيا بالكربون فقيرا في الأيدروجين حتى أوشك الأنتراسيت أن يكون كربونا نقيا. أما لماذا كان للضغط الشديد هذا الأثر على الهشيم فهو أمر ليس واضحا على الإطلاق. ولكنه في حكم المؤكد أن البكتريا-التي قاومت الفعل المطهر للهشيم-هي التي ساعدت على إزالة الأيدروجين في المراحل الأولى. وأيا ما كان فان المسالة الهامة من الناحية الاقتصادية هي أن العملية الأولية التي أدت إلى تكوين الفحم كانت تعفن المادة النباتية بوساطة بكتيريا الميثان. وهي-كما يتذكر القارئ من الفصل الثاني-بكتيريا لا هوائية بصورة إجبارية أي أنها لا تنمو في الهواء.

والميثان غاز المستنقعات. ولو انك وجدت بركة تساقط فيها أوراق الأشجار وغيرها من الخضرة بصورة فصلية منتظمة ثم غرست عصا في وحل قاعها لتصاعدت فقاقيع غاز المستنقعات وقد تكون هذا الغاز بوساطة بكتيريا الميثان. ويمكن تجميعه في وعاء مناسب وحرقه. ولو أنه اشتعل تلقائيا لصنع لسان النار السابق ذكره. ولابد أن الميثان قد تكون بكميات هائلة أثناء تكوين الفحم. وهذا الغاز هو المكون الرئيسي في الغاز الطبيعي الذي أصبح مصدرا للطاقة تتزايد أهميته. وقد أظهر بحر الشمال-عند أعداد الكتاب-مخزونا من الميثان تحت الأرض قد يفوق بكثير في قيمة الطاقة كل مخزون بريطانيا من الفحم (وهو مستقبل يبعث على الرضا التام-لو كان لي أن استطرد مرة أخرى-حيث أن تعدين الفحم وحرقه ضار بالصحة كما أن حرق الفحم يستهلك نواتج قطران الفحم القيمة) والغاز الطبيعي وقود نظيف نسبيا ويتزايد نفعه. وقد استهلكت الولايات المتحدة منه اكثر من عشرة آلاف مليون قدم مكعب عام 1965. ويوجد الميثان عادة في مناجم الفحم-وهو النار الكامنة التي تسبب كثيرا من الانفجارات الفاجعة في المناجم. ومن دواعي الأغراء أن نتصور أن المخزون الهائل من الغاز تحت الأرض الذي بدأنا الآن فقط في التنقيب عنه فد نشا بفعل بكتيريا

الميثان عبر الأحقاب الجيولوجية. ولاشك أن هذه هي الحقيقة ولكن بعض هذا الغاز على الأقل كان موجودا منذ نشأت الأرض، لأن الميثان واحد من الغازات القليلة الموجودة في الكواكب (ويتكون جو كوكب المشتري إلى حد كبير من الميثان والأمونيا). ولا شك أن جو الأرض البدائي كان يحتوي على الميثان قبل نشأة الحياة. ويجوز أن اغلب هذا الغاز قد تم احتباسه أثناء برودة الأرض واستقرارها. أن وجود غازات مثل الايثان ethane والبروبان propane وهي موجودة بكميات قليلة في الغاز الطبيعي-ولا تنتجها أية ميكروبات معروفة-يمكن أن نعزوه جزئيا إلى اصل من هذا القبيل.

والوقود الحفري الرئيسي الثالث الذي يملكه الإنسان هو النفط، ونواتج تقطير النفط التي نسمى جميعا بالبترول. أما نشأة النفط كناتج من فعل الميكروبات فمازالت مسالة معلقة. ويرجع السبب ج إلى حد كبير-إلى أن أحدا لم ينجح في جعل البكتيريا نصنع النفط في أحوال المختبر بكميات هامة على الأقل. وربما تكون المواد الهيدروكربونية hydrocarbons في النفط قد تكونت كيماويا بتأثير الماء على كربيد المعادن metal carbides أثناء طفولة هذا الكوكب، ولكن رواسب النفط لها خصائص تجعل الأصل البيولوجي قريب الاحتمال جدا. فهي أولا غنية بالبكتيريا اللاهوائية وبخاصة بالبكتيريا المختزلة للكبريتات التي أصبحت الآن مألوفة لدينا، وهي ترتبط برواسب الكبريت، والمعروف أن لها أصلا بيولوجيا. وقد وجد العلماء-فضلا عن ذلك-بعد نجاحهم في الكشف عن مركبات شبيهة بالنفط في مزارع الميكروبات أن هذه المركبات تكونت في مزارع مختلطة تحتوي عل البكتيريا المختزلة للكبريتات. ونستطيع-ثانيا-أن نكشف في النفط الخام عن مركبات تسمى البورفرينات porphyrins، وهي مواد كيماوية مشتقة من الأنزيمات التنفسية للميكروبات الحية، والمعروف أنها لا توجد بمعزل عن الكائنات الحية. وثالثا بعض المواد الهيدروكربونية نشطة ضوئيا، وهو ما يعني بتعبير غير كيماوي أن لها تركيبا من نوع خاص نعرف انه ينشا فقط من الأنظمة البيولوجية (وسوف أشرح نوع التركيب بمزيد من الدقة في هذا الفصل فيما بعد) ولا يمكن الجزم بصدق أي من هذه النقاط، فمن الجائز أن هذه التغيرات قد نتجت جميعا-مثلا-من تأثير الميكروبات على النفط بعد تكوينه، وهو تأثير معروف تماما للميكروبيولوجيين كما سنرى في الفصل السابع.

ولكن الاحتمالات تشير إلى أن النفط تكون بفعل عمليات ميكروبية مماثلة لتلك العمليات التي أدت إلى تكوين مخزون هذا الكوكب من الكبريت والفحم والغاز الطبيعي.

وإذا كانت مسئولية البكتيريا عن تكوين النفط غير ثابتة، لقد اصبح في حكم المؤكد أن لهذه الميكروبات دورا في تجمع رواسب النفط. أن أغلب النفط في الرواسب تمتصه صخور تسمى صخور النفط oil shale وهي عادة تتكون إلى حد كبير من كبريتات الكالسيوم. وقد بين الأستاذ زوبل من كاليفورنيا ZoBell-بوضوح كبير-أن أصدقاءنا القدامى من البكتيريا المختزلة للكبريتات-حين تنمو مع صخور النفط-تؤدي إلى إطلاق ما امتصته الصخور من النفط وتجمعه على هيئة قطرات. وتعمل البكتيريا ذلك بوسائل مختلفة، إحداها أن تختزل الصخور كيماويا إلى الكبريتيد وبذلك تغير تركيبها وتطلق ما امتصته من مادة النفط. ومن الوسائل الأخرى أن تنتج مادة أتشبه بالمنظف الذي يغسل النفط. ونسهم البكتيريا اللاهوائية الأخرى في التأثير. والمظنون أن رواسب النفط العظيمة في تكساس وكاليفورنيا-وهي بحيرات هائلة تحت الأرض من النفط الذي تسرب من صخوره-قد تكونت نتيجة لتأثير البكتيريا على صخور النفط. أن آبار النفط المستهلكة-وهي الآبار التي امتنع ضخها لأن الضغط الذي عاشت تحته قبل التنقيب عنها قد زال-مازال فيها كثير من النفط النافع. ويمكن إزاحة بعض هذا النفط بحقن الآبار بالماء الملح الأجاج أو ماء البحر تحت طبقة الزيت حتى يطفو النفط خارجا. (وتسمى هذه العملية الاسترجاع الثانوي secondary recovery في لغة التكنولوجيين المتخصصين في النفط) ولكن يبقى الكثير منه ممتصا في صخور النفط. وقد أمكن زيادة الاستخراج الثانوي بنجاح في تشيكوسلوفاكيا بضخ العناصر الغذائية للبكتيريا المختزلة للكبريتات في الآبار. لكن التحسن-لسوء الحظ-متواضع ومؤقت في اغلب الحالات، وهو أمر متوقع إذ يحفز الإنسان البكتيريا على عمل شيء خلال أسابيع كانت قد عملته عبر قرون من قبل.

الميكروبات في الصناعة:

لقد بحثنا أهمية الميكروبات في تكوين موارد الصناعة. وتنتهي بنا

الفقرات الأخيرة إلى مسالة الاستخدام المتعمد للميكروبات في الصناعة. فهل يمكن الإفادة من أية عملية من هذه العمليات اليوم، أم أنها تستغرق وقتا طويلا يجعلها غير مجدية ؟

إن الإجابة العامة هي أن هناك مخزونا كافيا في هذا الكوكب من الفحم والنفط وغاز الميثان والكبريت يكفي الجنس البشري بعض الوقت في المستقبل. ولو حدث نقص عالمي في أية مادة من هذه المواد الأساسية لقضي المنطق بتحضيرها خلال عملية كيماوية صناعية باستخدام الطاقة الذرية أو الطاقة الكهربية فذاك افضل من تقليد إنتاجها الطبيعي. لكن الجنس البشري في عمومه غير منطقي. فهو عاجز عن الإفادة من موارده في الأرض على نطاق عالمي بسبب ما يبدو من أنانية موروثة. أن النقص المحلي للمواد الخام مرض مزمن في كوكبنا الذي أصاب قدرا من التحضر فقط. وقد حدث المثل الكلاسيكي على هذا في نقص الكبريت عالميا في أوائل الخمسينات. وكانت الصناعة البريطانية آنذاك-كنموذج للصناعة في اغلب أوروبا الغربية-مرتبطة باستخدام الكبريت الطبيعي المستورد من الولايات المتحدة وفي عام 1950 كان معدل استنزاف قباب الكبريت الموجودة أتعلى من معدل اكتشاف قباب جديدة، فارتفع ثمن الكبريت الأمريكي. ولما كانت بريطانيا واغلب الدول الغربية محرومة من الدولار نتيجة للحرب فقد وجدت أن التحسن في صناعتها يعوقه النقص العالمي المروع في الكبريت. وقد حفز هذا النقص على مزيد من البحث، وتم اكتشاف العديد من الرواسب الجديدة، ولكن أزمة الكبريت تأجلت فقط نحو عقد من الزمان. ثم انتهى النقص في أواسط الخمسينات ولكن الإنتاج في عام 1963 تجاوز اكتشاف مصادر جديدة مرة أخرى، ونشا نقص جديد وان كان اقل حدة لأن كثيرا من الصناعات الرئيسة تحول إلى البيريتات والمعادن الأخرى كمصادر لحمض الكبريتيك خلال الخمسينات. وقد استحدثت-نتيجة للازمة السابقة-عملية لصناعة حمض الكبريتيك [5] باستخدام الميكروبات في أحد مختبرات البحث الحكومية البريطانية. وقد بنيت العملية على الأسلوب الذي تتبعه البكتيريا المختزلة للكبريتات في الطبيعة. وقد بين ك. ر. بوتلين K.R.Butlin. وزملاؤه-وقد شارك المؤلف في ذلك أحيانا-أننا نستطيع تخمير محتوى المجاري باستخدام البكتيريا المختزلة للكبريتات،

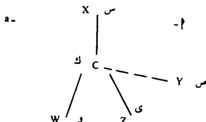
والحصول على نحو خمس احتياجات بريطانيا من الكبريت-نظريا على الأقل-بعملية يمكن تسميتها بتسميد composting وحل المجاري sewage sludge بالجبس (وهو كبريتات الكالسيوم). ولم يكن الكبريت هو الناتج وإنما كان كبريتيد الأيدروجين، ولكنه أيضا كان مساويا في نفعه. إذ أمكن تحويله إلى الكبريت أو حمض الكبريتيك حسب الطلب. بعمليات كيماوية صناعية معروفة. وكان لوحل المجاري مزايا خاصة بعد المعالجة من ناحية التخلص منه (فقد تحسنت خصائصه الترسيبية وبذلك قلت كمية المياه اللازمة منه)، كما أن مؤسسة للمجاري في لندن طبقت العملية في مشروع تجريبي لكن-نتيجة لقرار مؤسف سوف نشير إليه مرة أخرى في الفصل الثامن-توقف هذا المشروع وانكمشت بالتالي آمال بريطانيا في بلوغ الاكتفاء الذاتي من الكبريت-ولو جزئيا-ومع ذلك فبصفة عامة يمكن لعملية ميكروبولوجية لإنتاج الكبريت من المجاري أن نصبح نافعة في الدول ذات المستوى المنخفض من التصنيع والموارد المحدودة من العملة الأجنبية. وقد تمت عملية مشابهة في تشيكوسلوفاكيا استعملت فيها النفايات الصناعية. بالمثل يمكن استخدام تصميمات لإنتاج الميثان بالتخمر البكتيري من نفايات المزارع والمجاري كمصدر للطاقة في المناطق المتخلفة صناعيا من آسيا وأفريقيا[6]. وقد اقترح البعض «زراعة الكبريت» sulfur farming كصناعة ريفية ممكنة في بعض مناطق الهند مثل ماسوليباتام Masulipatam، كما صممت التركيبات لتشغيل الثلاجات بالميثان الذي تولده البكتيريا من نفايات المزارع لاستخدامها في المناطق الحارة. والميثان-في الواقع-هو الناتج الطبيعي لإحدى المراحل في المعالجة التقليدية للمجاري. وتستخدم مصانع المجاري المتطورة في الدول المتفوقة صناعيا الميثان المتولد أثناء تحلل المادة العضوية في المجاري لتشغيل مكناتها، وحتى في بعض الحالات لتسيير الشاحنات. وقد أمكن التغلب على معارضة مجلس الغاز[7] لإضافة الميثان إلى غاز المدن في السنوات الأخيرة، كما أن بعض مصانع المجاري تزود شبكات الغاز في مقاطعاتها بالميثان. وسنبحث إنتاج الميثان أثناء مناقشتنا لموضوع التخلص من المجاري في الفصل الثامن.

وتحتاج العملية الصناعية التي تعتمد على الميكروبات إلى نفاية رخيصة لاستخدامها حتى تكون اقتصادية، وذلك حين يكون الناتج مادة كيماوية

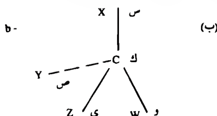
بسيطة مثل الكبريت أو الميثان. وجرت العادة على إنتاج الكحول الصناعي مثلا بتخمير المولاس (وهو أحد نفايات صناعة السكر) بوساطة الخميرة. كما تم إنتاج الأسيتون acetone والكحول البيوتيني butanol-وكلاهما مذيب صناعي هام-بتخمير المولاس بوساطة كلوستريديوم اسيتوبُيوتليكم clostridium acetobutylicum. ويمكن إنتاج الجلسيرول glycerol صناعيا خلال التخمر الكحولي في وجود الكبريتيت sulphite إنتاج حمض الخليك acetic acid صناعيا بتخمر الخل التقليدي إلا أن كل هذه المنتجات يمكن صناعتها الآن بالسهولة نفسها بعمليات كيماوية بحتة كنواتج جانبية في صناعة البترول، وان كانت بعض الصناعات مازالت تستخدم عمليات التخمر في إنتاج هذه الكيماويات البسيطة-حيث أن الأجهزة موجودة-فمن المعقول أن نقول أن عمليات التخمر هذه-من الناحية الصناعية-قد عفا عليها الزمن. فالميكروبات تكون منتجاتها دائما في كميات قليلة نوعا وهو ما يستدعي عمليات تركيز صناعية باهظة التكاليف. وهذا الأمر، بالإضافة إلى أن خاماتها يجب أن تظل رخيصة على الرغم من طلب الصناعة المتزايد على الناتج نفسه-يجعلان استخدام الميكروبات في إنتاج «الكيماويات الثقيلة»-وهي التي يزداد الطلب عليها-مسالة غير اقتصادية بصفة عامة.

ويكمن مستقبل الميكروبات في الصناعة-بصفة رئيسة-في تحضير المواد التي يشق على الكيماوي تحضيرها على نطاق صناعي لسبب أو لآخر. وحمض الليمونيك citric acid،-وهو يستخدم بكثرة في صناعة المشروبات الغازية كما ذكرنا في الفصل الخامس-مادة عسيرة على التخليق الكيماوي وان كان تركيبها بسيطا. ومن ثم فما زالت تصنع ميكروبيولوجيا على نطاق صناعي ويحتمل أن يظل الأمر على هذا النحو. وحمض الفيوماريك fumaric وحمض الايتاكونيك itaconic كيماويات أبسط في تركيبها من حمض الليمونيك، ولكن ليس من اليسير أيضا صناعتهما كيماويا، ولهما استخدامات في صناعات البلاستيك والأصباغ الصناعية. ويتم إنتاج هذين الحمضين بتخمير السكر بوساطة فطريات من مجموعة ريزوبس Rhizopus وأسبرجيللس Aspergillus على التوالي. ولحمض الجلوكونيك gluconic-وهو مشتق من الجلوكوز-استخدام في الصيدلة كوسيلة لتزويد المرضى بالكالسيوم، (ويمكن حقن جلوكونات الكالسيوم بأمان)، ويتم تحضيره صناعيا

بتأثر بكتيريا اسيتوبكتر سباكسيدانس Acetobacter suboxydans على الجلوكوز (وقد صادفنا هذا النوع من البكتيريا في الفصل الخامس وذكرنا انه ينتج فيتامين ج). إن قسما عاما من المركبات ذات الطبيعة الخاصة هي تلك التي تكون نشطة ضوئيا optically active. وهذا يعني أن هذه المركبات تؤدي إلى انحراف الضوء المستقطب، polarized light وهذا أمر يمكن الكشف عنه بأجهزة ضوئية مناسبة. ولن نهتم هنا بتفصيلات ماهية هذا التأثير، ولكن مغزاه له بعض الأهمية لأنه يشير إلى دقة تركيب الجزيئات في هذه المواد. وسوف اصف أبسط الحالات الممكنة لجزيء نشط ضوئيا حتى اشرح الأمر لغير الكيماويين. فلنتصور مركبا كربونيا يكون رمزه الكيماوي ك و س ص ي Cwxyz. وتكون ك c هي ذرة الكربون وتتصل بها أربع ذرات مختلفة هي و، س، ص، ي w,x,y,z. ولو انك استطعت أن ترى جزيئا من ذلك المركب مجسما-كما هو في الحقيقة- لظهر على النحو التالي:



حيث تقع س مع و(w و x) في مستوى الورقة. أما ي (Z) فتبرز إلى أعلى فوق مستوى الورقة، وأما ص (Y) فتهبط إلى اسفل تحت مستوى الورقة (وتقع و، س، ص، ي W,X,Y,Z على رؤوس مجسم رباعي تكون كC في مركزه من الناحية الهندسية). أن هذا الجزيء غير متماثل. ولو انك وضعت امامه مرآة تعكس صورته لظهرت على هذا النحو:



الجزيء الأصلي وصورته مختلفان لأنك مهما حركت الصورة ب فلن تستطيع لها انطباقا على أ. ويترتب على ذلك أن أي مركب كيماوي يحتوي على ذرة كربون (أو أية ذرة أخرى) تتصل بأربع ذرات مختلفة (أو مجموعات من الذرات) يمكن أن توجد في هيئتين تقابلان في التركيب الأصل وصورته في المرآة. ولكن الهيئتين متشابهتان من ناحية خواصهما الكيماوية العامة كلها، وإنما تختلفان فقط في تفصيلات دقيقة معينة مثل تأثيرهما على الضوء. وعندما يخلق الكيماوي مثل هذا المركب غير المتماثل في المختبر فانه يحصل عادة على مزيج من الهيئتين بنسب متساوية. ولكن الأنظمة البيولوجية حين تصنع أو تستخدم المركبات غير المتماثلة، فإنها تصنع أو تستخدم إحدى الهيئتين فقط دون الأخرى. والواقع أن اغلب الجزيئات البيولوجية غير متماثلة ويوشك أن تنتمي جميعا إلى ما يعرف بقسم الشمال في ترتيبات الجزيئات molecular configuration. وتستخدم الميكروبات في تحضير المركبات النشطة ضوئيا لسببين: الأول أن بعض الميكروبات تفضل استخدام الجزيئات في هيئة قسم الشمال وبذلك تمكن الكيماوي من تحقيق الفصل بين الصورتين لأن الميكروبات تترك إحدى الصورتين جانبا. السبب الثاني هو أن الميكروبات حين تصنع ناتجا غير متماثل فأنها عادة تصنع صورة واحدة فقط من الصورتين (صورة قسم الشمال عادة) ويعتمد نشاط الأدوية في الصيدلة غالبا على الحصول على الهيئة الصحيحة للجزئيات، وقد لا يكون فيها مركز واحد وإنما مراكز عديدة غير متماثلة. وتكون الوسائل البيولوجية وبخاصة الوسائل الميكروبية هي الطرائق العملية الوحيدة لإنتاجها.

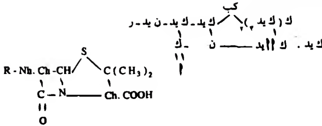
وقد نحتاج إلى المركبات النشطة ضوئيا في الصيدلة والأبحاث، ولكنها ليست بالكيماويات المطلوبة في الصناعات الثقيلة لأمة ما. وهي تمثل قسما من الكيماويات الدقيقة، ويبدو أن إنتاجها سوف يستلزم العمليات البيولوجية دائما. ولكن هذه العمليات البيولوجية ليست المجال الوحيد التي تلزم فيه الميكروبات، فنحن نحصل على القلويدات alkaloids والهرمونات وكثير من المنتجات الطبيعية الأخرى المدونة في سجل الأدوية من النباتات والحيوانات تماما كما نحصل عليها من الميكروبات.

والمثل الكلاسيكي على استخدام الميكروبات لإنتاج مادة لا يمكن صناعتها

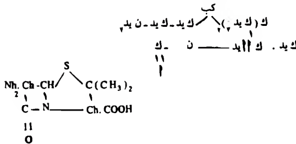
بغير الميكروبات هو إنتاج المضادات الحيوية بالطبع. أن المضادات الحيوية مواد ينتجها نوع من الميكروبات، كي يقتل ميكروبات أخرى أو لكي يوقف نموها. والمضادات أحيانا فعالة بصورة غير عادية. فما زال البنسلين واحدا من أقوى العقاقير المعروفة ضد البكتيريا الحساسة. وينتجه عفن خيطي الشكل أشبه بذلك الذي ينمو على الجبن الأزرق، [8] واسمه البنسيليوم Penicillium (وهناك أنواع عديدة من هذا الفطر تنتج مثل هذه المواد، ولكن عفن ب. كريزوجينم P.Chrysogenum. هو المستخدم صناعيا)، وقد كانت الكميات الناتجة ضئيلة أثناء الدراسات الرائدة. وقصة البنسلين-أول المضادات الحيوية-مدونة في السجلات، ومن ثم فلا حاجة لأن نخوض هنا فيها، وان كنا قد أشرنا إليها-في الفصل الثالث. ونكتفي هنا-حتى نظل في نطاق الأهمية الصناعية للميكروبات-بالإشارة إلى أن البنسلين مركب يستعصي جدا؟ على التخليق الكيماوي، والى انه قد أحدث ثورة في الطب. ولا يزال واحدا من أعظم العقاقير قيمة، على الرغم من وجود بكتيريا تقاومه ومرض لديهم حساسية تجاهه (انظر الفصلين الثالث والخامس). ولسوف يستمر إنتاج البنسلين ميكروبيولوجيا لسبب بسيط هو أن من العسير جدا تحضيره كيماويا. ومن الأمور اللافتة لنا أن سلالات العفن المستخدمة أيلان في صناعة البنسلين تنتج، ثلاثمائة ضعف قدر ما كانت تنتجه سلالة فليمنج fleming. والسبب في ذلك يوضح مسالة هامة تتعلق بالمرونة في الصناعة الميكربيولوجية. وقد ذكرنا في الفصلين الثاني والرابع كيف أن الميكروبات تبدي تكيفا عظيما أو بعبارة أخرى تستطيع أن تكيف نفسها مع البيئات الجديدة. وترتبط عملية التكيف بعملية تسمى التطفر mutation (وسوف نناقشها في الفصل العاشر). فنحن نستطيع الحصول على طفرات ميكروبية mutauts يزيد (أو يقل) إنتاجها من النواتج الجانبية كالبنسلين تماما، مثلما نستطيع أن نحصل على طفرات تقاوم العقاقير أو تستطيع النمو وان تحلل مواد غريبة. , المعالجة (السيئة) لسلالات الميكروبات بمواد مثل غاز الخردل mustard gas أو بالأشعة فوق البنفسجية أو أشعة جاما أو أشعة اكس تحفز التطفر بين الميكروبات الناجية من الموت. وقد أمكن الحصول بهذه الطرق على طفرات من ب. كريزوجينم ذات قدرة زائدة على إنتاج البنسلين كما أشرنا. وكل السلالات الميكروبية المستخدمة

في الصناعة طفرات وتعد إنتاجيتها أسرارا تجارية مصونة.

ويتم إنتاج البنسلين نفسه أو الأنواع الثلاثة أو الأربعة منه-والتي تنتجها سلالات مختلفة في ظروف متباينة-بوساطة التخمر على دفعات (انظر الباب الرابع). ولم يكن أسلوب الزراعة المستمرة بعد قد استخدم على نطاق واسع. ولكن معامل البحث في شركة بيتشام Beecham في بريطانيا قد ابتدعت طريقة نصف ميكروبيولوجية ونصف كيماوية، لإنتاج كل الصور المختلفة لجزيء البنسلين. ويبشر بعضها بفائدة فائقة- ورمز جزيء لبنسلين الكيماوي كما يلي:



حيث تعني ر(R) مجموعة من الذرات يحدد تركيبها الدقيق نوع البنسلين الناتج. ويمكن باستخدام سلالات طفرية خاصة وأحوال زراعية معينة أن نجعل العفن يصنع حمض البنسيلانيك penicillanic acid ،ورمزه كما يلي:



لاحظ أن له نفس رمز البنسلين ولكن هناك يد(H) في مكان ر(R). وليست هذه المادة من المضادات الحيوية، ولكنها تصير كذلك حين تتصل بها واحدة من مجموعات ر(R). ونستطيع الآن إنتاج العديد من مشتقات البنسلين المختلفة التي لا تنتج في الطبيعة، وذلك بإدخال مجموعات في محل ر (R) ليست موجودة في البنسلين الطبيعي. وقد فعل هذا علماء

شركة بيتشام، ومن دلائل نجاحهم أن بعض هذه المركبات فعال ضد البكتيريا التي كانت قد أصبحت مقاومة للبنسلين الطبيعي.

لقد استخدمنا في تلك الحالة مزيجا من العمليات الميكروبيولوجية والكيماوية في الصناعة-وكان الكلورامفينيكول chloramphenicol أحد المضادات الحيوية التي سرعان ما تم اكتشافها بعد ظهور البنسلين. ويصنعها الأكتينومايسيت ستربتومايسيس فنزويلا Streptomyces venzuelae. وهذا المركب فعال ضد البكتريا (مثل بكتيريا التيفود) التي لا يؤثر فيها البنسلين. كما أن له تركيبا بسيطا نسبيا وليس من العسير إنتاجه كيماويا وهو ينتج الآن في الصناعة بلا اعتماد على الميكروبات. ومع ذلك فكل المضادات الحيوية الأخرى تتم صناعتها بعمليات التخمر. وإذا كانت المئات منها قد سجلت في المراجع العلمية(سجل 59 مضادا جديدا عام 1963) فمما يدعو إلى الدهشة أن عددا ضئيلا هو الذي أثبت قيمة حقيقية في الصيدلية. إلا أن في الإمكان تصنيف المضادات الحيوية. وسأفعل هذا كي نحصل على فكرة موجزة عن تلك المواد التي أثبتت بعض الفائدة الطبية.

البنسلينات Penicillins

وهي أول ما اكتشف من المضادات الحيوية وأنفعها وأقلها سمية. وتصنعها فطريات من جنس بنسيليوم penicilium وبعض الأنواع من اسبرجيللس Aspergillus. وتنتج الولايات المتحدة اكثر من نصف مليون رطل من البنسلين كل عام. ورغم أن البنسلين جد فعال عندما يستقيم عمله فان مداه المضاد للبكتيريا-أي نطاق أنواع البكتيريا التي يكون فعالا ضدها-مدى ضيق نوعا. أما الكيفالوسبورينات Cephalosporins فهي مضادات حيوية شبيهة بالبنسلين ولها مدى واسع نسبيا في التأثير. وهي غالبا تهاجم البكتيريا التي تقاوم البنسلين العادي. وتصنعها فطريات من جنس الكيفالوسبوريوم. Cephalosporium

المضادات الحيوية عديدة الببتيدات polypeptide antibiotics

هذه أجزاء بروتينية تركيبها غير عادي نوعا، وتنتجها بكتيريا من مجموعة باسلس Bacillus group، وهي فعالة ضد بكتيريا أخرى. وعملها أشبه بعمل

المنظفات إذ تتلف جدار الخلية. وإذا كانت في الأغلب لا تستعمل استعمالاً داخليا في الجسم لشدة سميتها فقد استعملت في علاج الجروح الخارجية. ومن أمثلة هذه المضادات الجراما سيدين gramacidin والبوليمكسين polymyxin والبسيتراسين bacitracin.

التتراسيكلينات Tetracycline antibiotics

هذه مضادات حيوية واسعة المدى broad spectrum. وإذا كانت فظة في تعاملها مع البكتيريا العادية التي تعيش مرتبطة بنا فقد شاع استعمالها من قبل مع الأطباء في السيطرة على العدوى البكتيرية الثانوية التي غالبا ما تصاحب الأمراض الفيروسية. ولهذه المضادات تركيب كيماوي مميز إذ يتألف الجزء من أربع حلقات متصلة مكونة من ذرات الكربون. ولقد انتشر استخدام الاوريومايسين aureomycin (كلورتتراسيكليين Chlortetracycline) والترامايسين terramycin (أوكسي تتراسيكلين Oxytetracycline) في الطب العام. وتصنعها الاكتينومايسيتات التي تسمى ستربتومايسيس أوريوفاشياتر Streptomyces aureofaciens و س. رايموزس S.Rimosus على التوالي. ويتم إنتاجها اليوم بكميات مقاربة لكميات البنسلين.

الجليكوزيدات Glycoside antibiotics

أن الاسربتومايسين Streptomycin وهو المضاد الحيوي التالي للبنسلين في اكتشافه نتيجة الاكتينومايسيت: ستربتومايسيس جزيزيوس actinomycete Streptomycic وهو أكثر سيئة من البنسلين، ومع ذلك فقيمته الطبية عظيمة وبخاصة في علاج الدرن كما أنه يهاجم أنواعا من البكتيريا تقاوم البنسلين. وهو يتميز كيماويا بما يحتويه من جزيئات السكر المعدلة. والنيومايسين قريب للاستربتومايسين ويصنعه ستربتومايسيس فرَادياي Streptomyces fradiae وهو شديد السمية فلا يمكن حقنه، وهو لا يمتص من الأمعاء كما أنه قيم في علاج عدوى الأمعاء والجلد. وينتمي النوفوبيوسين Novobiocin إلى هذه المجموعة. أما الإريثرومايسين erythromycin فهو من الناحية الكيماوية ذو قرابة بعيدة لهذه المجموعة، ويستخدم في علاج العدوى التي تقاوم البنسلين. وهذه المواد كلها تنتجها أنواع من جنس سر بتومايسيس.

وقد أمكن الحصول على طفرات من هذه الأنواع تنتج كميات كبيرة من الاستربتومايسين لاستخدامها في الصناعة.

البوليينات [10] Polyene antibiotics

تنتج بعض الاستربتومايستيات Streptomycetes مركبات قريبة لفيتامين أ من بعيد، فعالة ضد الفطريات. وقد استخدمت في علاج الإصابات الفطرية. وتشمل النيستاتين nystatin وهو أكثرها شيوعا في الطب.

مضادات حيوية غير مبوبة Unclassified

ظهرت تقارير عن ألف ومائة من المضادات الحيوية بين عامي 1938 و 1963. وقد وصل منها 54 إلى مرحلة الإنتاج التجاري. ومن المستحيل أن نذكرها جميعا هنا، ولكني ألمحت إلى المضادات الرئيسة منها. والعوامل المضادة للأورام ذات أهمية خاصة إذ تسبب ضمور بعض أنواع السرطان. وكان الأكتينومايسين actinomycin-أول ما اكتشف منها-شديد السمية، بطبيعته وليست له فائدة عملية كبيرة. ولكن الأبحاث التي أجريت على مركبات أقل سمية مثل المايتومايسين mitomycin من الولايات المتحدة والأوليفومايسين olivomycin من الاتحاد السوفيتي أدت إلى بعض النجاح الاكلنيكي. وتنتج سلالات من الأكتينومايسيتات هذه المركبات جميعا. وهي تعمل من خلال التداخل مع وظيفة حمض الريبونيكليك ح ر ن (ribonucleicacid RNA)، وهو أحد مكونات الخلايا الحية ويتحكم في النمو. أما المضادات الحيوية الأخرى التي تستحق الذكر فمنها الكلورامفينوكول، وهو مضاد حيوي واسع المدى وهو الوحيد الذي يتم إنتاجه كيماويا كما ذكرنا من قبل. ومنها السيكلوزيرين Cycloserine وهو ناتج آخر من الاستربتومايسيس نافع في علاج الدرن. ويجب أن نذكر الجريزيوفلفين griseofulvin إذ يصنعه بنسيليوم جريز يوفُلفين penicillium griseofulrum وكذلك يصنعه الفطر المنتج للاستربتومايسين س. جريزيوس S.griseurs وهذا المضاد فعال ضد مسببات أمراض النباتات وبخاصة الفطريات مثل مسببات المرض الزغبي والصدأ. وله قيمة بالغة في الزراعة. أما النايزين nisin، وتنتجه ستربتوكوكس لاكتس Streptococcus lactis فهو في الحقيقة

إنزيم وقد يستخدم في حفظ الطعام.

ويوضح المثلان الأخيران أن المضادات الحيوية إذا كنا نعتبرها عقاقير سحرية يستعملها الناس فان لها تطبيقات في الزراعة وحفظ الطعام أيضا. كما أنها استخدمت كذلك كإضافات لعلف الحيوان، وهو موضوع نوقش في الفصل الخامس. والمضادات الحيوية هي الدعامة الرئيسة بالتأكيد للميكروبيولوجيا الصناعية اليوم بمعنى أنها موثوق بها ويمكن تسويقها كما تنتجها الصناعة باستخدام الميكروبات فقط. وعلى ذلك أنفقت الصناعة أموالا طائلة في سبيل البحث عن المضادات الحيوية وتطويرها. ومن المدهش حقا أن عددا يقل عن اثني عشر من هذه المواد مناسب للاستعمال في الطب العام، كما أن أفضلها جميعا أول ما اكتشف منها: البنسلين. ويدعو إلى الدهشة كذلك ما تنتجه الأكتينومايستيات وبخاصة جنس استربتومايسيس من مختلف المضادات الحيوية، وقد اقترح البعض أن إنتاج المضادات الحيوية قد يوفر مزية انتقائية للميكروبات التي تعيش في التربة وتنمو فيها ببطء، وتتنافس مع بكتيريا التربة. ولكن خطا هذا الرأي يتجلى في أن هذه الميكروبات في الطبيعة لا تنتج أبدا من المضادات الحيوية ما يبدو كافيا للتأثير في جيرانها من البكتيريا.

حين يستخدم رجال الصناعة الميكروبات لإنتاج مواد مثل المضادات الحيوية أو الفيتامينات التي ناقشناها في الفصل الخامس فانهم يستخدمونها كنوع خاص من «المواد» الكيماوية. وهم يستخدمونها لتحويل مادة معينة إلى شئ أنفع. وما هي إلا خطوة صغيرة من هذا النوع من النشاط لكي نبلغ مرحلة استخدام كل من الميكروبات والكيماويات في سلسلة من التخليقات الكيماوية. وقد صادفنا أمثلة على ذلك من قبل مثل تكوين فيتامين ج باستخدام ميكروب أسيتوباكتر Acetobacter نام على مادة تم إنتاجها كيماويا (انظر الفصل الخامس) أو إنتاج البنسلينات الصناعية بأجراء بعض التغير الكيماوي في حمض البنسلانيك. ومن الحالات المثيرة للإعجاب التي استخدمت فيها الميكروبات كمواد كيماوية في سلسلة من التخليقات الكيماوية حالة إنتاج الاستيرويدات Steroids صناعيا. والاستيرويد عبارة عن هورمونات ومواد شبيهة بالهورمونات لها أهمية في الصيدلة. وكانت الأمثلة الأولى لها قلويدات الإرجوت ergot alkaloids التي لها تأثرات

مشابهة لتأثرات بعض الهورمونات الجنسية، وينتجها في الطبيعة فطر يسمى كلافيسيس claviceps-ويهاجم هذا الفطر القمح. وقد حدث أحيانا أنه لوث الخبز وسبب الهلاوس hallucinations وعددا من الاضطرابات الأخرى عند من تناوله من الناس. وتوجد مادة الإرجوستيرول ergosterol كذلك في الخميرة-وهي مادة شبيهة بهذه المجموعة من القلويدات-وفي الإمكان استخلاصها وتحويلها إلى فيتامين د كما رأينا في الفصل الخامس. ولكن أدعى الأمور إلى الدهشة ما تم منذ عهد قريب من استخدام العفن من مجموعات رايزوبس Rhizopus في تغيير التركيب الكيماوي للاستيرويدات النباتية وتحويلها إلى هورمونات فعالة دوائيا. وقد سمع أغلب الناس بالكورتيزون وهو هورمون القشرة في الغدة الكظريةadrenal، وقد أثبت فعالية هائلة كعلاج ملطف في الالتهاب الروماتيزمي للمفاصل rheumatoid arthritis ويمكن الحصول عليه بكميات ضئيلة من الغدد الطبيعية للماشية مثلا. وفي عام 1949 كانت الطريقة الوحيدة الأخرى في تحضيره هي إجراء 37 خطوة كيماوية مستقلة على أحد الأحماض من الصفراء. ولا عجب أن ثمنه بلغ نحو 500 دولار لكل جرام ! ثم اكتشف الباحثون في شركة أيجون Upjhon في الولايات المتحدة عام 1952 أن رايزوبس يمكنه التأثير في هورمون جنسي ميسور يسمى البروجسترون Progesterone فيصنع ناتجا يمكن تحويله إلى الكورتيزون في ست خطوات كيماوية فقط (وقد أمكن إنتاج البروجسترون من قلويد يسمى ديوسجينين diodgenin يوجد في نبات مكسيكي يدعى «قدم الفيل»، وكان الحصول على البروجسترون أصلا يتم من الغدد الجنسية للحيوانات فقط). وتكاثرت منذ ذلك الحين تقارير هائلة عن استخدام رايزوبس ونيوروسبوزا Neurosporal بصفة رئيسية في تحويل الاستيرويدات من هيئة كيماوية إلى أخرى. والطريقة من ناحية المبدأ بسيطة: إذ يستنبت الفطر مثلا مع بعض الجلوكوز وخلاصة الذرة كوسط غذائي يحتوي على مستحلب الاستيرويد (ولا تميل الاستيرويدات إلى الذوبان في الماء ولذلك ينبغي استحلابها). ثم يتم قتل المزرعة بعد زمن مناسب وتستخلص المادة الاستيرويدية، وقد تحولت منها إلى ستيرويد جديد نسبة تبلغ في الحالات المناسبة 95 في المائة. وإذ تكون الاستيرويدات نافعة في أمراض الروماتيزم والمفاصل فأنها نافعة كذلك في منع الإجهاض

قبل الأوان وعلاج الاضطرابات في الحيض، وهي تبشر بالأمل كموانع للحمل عن طريق الفم. ويمكن أن يكون هذا ميدانا هاما للميكروبيولوجيا التطبيقية.

إن المضادات الحيوية والاستيرويدات والفيتامينات التي ناقشناها في الفصل الخامس يمكن أن تمثل مصدرا هائلا للربح في الميكروبيولوجيا الصناعية ؛ في يتعلق بالصناعات الدوائية على الأقل. وهناك على كل حال عدد اكبر كثيرا من العمليات الصناعية تجري اليوم، وتستخدم فيها الميكروبات. فالدكسترانات dextrans مواد تشبه النشا، ويتم تحضيرها من السكر. وهي قيمة لأن في الإمكان استخدامها كبدائل للبلازما في عمليات نقل الدم. ويتم تحضيرها في الصناعة بالسماح لبكتير ليكونوستوك ميزينتيرويدز Leuconostoc mesenteroides بالتأثر في السكر العادي. وفي بعض الأحيان يتم قتل البكتيريا ويستخلص منها الإنزيم المسئول عن تحويل السكر ؛ لأن هذا أدعى إلى السيطرة على العملية. ويتم تحضير الأمصال المضادة (انظر الفصل الثالث)-التي تستخدم في حماية الناس المعرضين لأخطار أمراض، كالتيتانوس-بحقن البكتيريا الحية في الحيوانات ثم الحصول على مستحضرات من الأجسام المضادة التي تصنعها هذه الحيوانات. كما يتم تحضير اللقاحات Vaccines-على نفس المنوال-بزراعة الميكروبات المرضية في عوائل مأمونة أو مزارع، ثم جعل هذه الميكروبات غير ضارة إما بالتسخين أو بإضافة أحد المطهرات. ويمكن عندئذ حقنها بأمان في المرضى.

ومن الواضح أن كثيرا من المنتجات الصناعية باستخدام الميكروبات لها استعمال طبي كما يستعمل بعضها في الطعام، ولكن ينبغي أن أذكر واحدا أو اثنين من المنتجات خارج نطاق هذه الميادين.

إن الإنزيمات عوامل مساعدة حيوية تعمل على إحداث التفاعلات الكيماوية الحيوية. ويمكن استخلاصها من جميع أنواع الأنسجة الحية. وكثيرا ما تكون أنسجة الميكروبات أنسبها. أن الأميلازات amylases مثلا أنزيمات تحلل النشا وتستخدم في مجال التنظيف وصناعة الورق (فهي تذيب أدران النشا من الأنسجة المستخدمة في صناعة الورق). ويتم تحضيرها في الصناعة من عفن أسبرجيللس أورايزي Aspergillus oryzae

وغيره من هذا الجنس أو من البكتيريا من جنس باسلس) genous Bacillus وإنزيم السيليولاز-cellulas وهو الأنزيم الذي يحلل السيليولوز في مادة النبات إلى السكاكر-كان ينبغي الإفادة منه في تحويل المواد الخام التي لا نفع فيها إلى منتجات يمكن تخميرها ولكنه حتى الآن له يستخدم في الصناعة على نطاق واسع، وإن كانت الفطريات المعفنة للخشب مثل مايروثيسيوم Myrothecium تحتوي على مثل هذه الإنزيمات). والبكتين Pectin عنصر جيلاتيني في الفاكهة يجعل المربى تجمد، ويمكن أن تحلله أنزيمات تسمى البكتينازات Pectinases تصنعها بكتيريا عديدة، وتستخدم الإنزيمات المستحضرة منها في تثبيت عصير الفواكه. وتعطين الكتان بنقعة لإزالة البكتينات واستبقاء الألياف عملية تقليدية ؟ هي في الأساس تعريض النبات للبكتينازات البكتيرية. ولا تستخدم المزارع النقية ولا مستحضرات البكتينازات-على قدر ما أعلم-في الصناعة، وإنما يفصل التعطين التقليدي. إن البروتينازات proteinases أنزيمات تحلل البروتينات. وهي تستخدم في تنقية البيرة وإزالة بقع البروتين عند تنظيف الملابس وتهيئة العجين عند الخبز وإزالة شوائب اللحم الخارجي والشعر من جلود الحيوان قبل الدباغة وإزالة الجيلاتين من مستحلبات التصوير. وقد قيل أنها تسارع بإزالة جلطات الدم والكدمات كما في حالات كدمات العين السوداء. ويتم تحضيرها من النباتات ومختلف الميكروبات بما فيها الفطريات من جنس أسبرجيللس. أما الإنفرتاز Invertase فهو إنزيم يحول سكر القصب إلى الجلوكوز والفركتوز ويحضر من الخميرة. وقد استخدم في صناعة العسل الصناعي ولكن أعجب استخدامه في صناعة الشكولاتة ذات اللب اللين. وفي هذه العملية يتم بسرعة تغليف الشكولاتة حول فندان سكري صلب يحتوي على الإنزيم. وبعد ترك الشكولاته لتجمد وتستقر يقوم إنزيم. الإنفرتاز في الفندان بتحويل السكر إلى «سكاكر منقلبة» وتكون النتيجة تحول الفندان إلى حالة من السيولة الجزئية.

ويبدو أن حديثنا في الميكروبيولوجيا الصناعية قد أعادنا مرة أخرى إلى التفكير في الطعام. ويصدق بالتأكيد أن منافع الميكروبات الرئيسية التي يحصل عليها الإنسان عامدا هي تلك التي تزيد اهتمامه ببطنه وصحته، ولكن أليست هذه هي الشواغل الأولية للنموذج العادي من الجنس البشري؟

من المؤكد أن الصناعة ليست خيالية فيما يختص بموضع المال في الميكروبيولوجيا الاقتصادية. وسيكون لدي مبرر للأسف على ذلك في الفصل التالي. والواقع أن بعض الميكروبيولوجيين الصناعيين يعتبرون أن إنتاج الميكروبات للمواد يضم كل موضوع الميكروبيولوجيا الصناعية. وقد تم تأليف مراجع كاملة تهدف إلى تغطية الميكروبيولوجيا الصناعية وهي لم تزد إلا قليلا عما أثرناه من موضوعات في النصف الثاني من الفصل الحالي. وليس العلماء بأكثر مناعة ضد رائحة المكاسب من سائر الناس !

7 التلف والتحلل والتلوث

إنني الأب الفخور لعائلة صغيرة. ومن النتائج غير المتوقعة لهذا الميراث القيم كمية ما يراكم في البيت من سقط المتاع، وهو أمر مألوف لدى القراء الذين يتشابه موقفهم مع موقفي. (وأسارع بالقول- خشية أن يقرأ أحد أطفالي هذا الكلام-إنني أعلم أن الأمر بالنسبة لهم ليس من سقط المتاع، وأن كل طفل يعرف شخصيا كل بطة في لعبه وطوبة من البلاستيك واسطوانة من أغاني الأطفال وأرنب منفوش ولوحة رسم وعلبة ألوان ويضيف إليها شعوره بالملكية والتاريخ). وعندما كنت أنا صغيرا كان للألعاب عمر محدود يمكن التنبؤ به. فقطار الزمبرك مثلا يجوز أن يتكسر ويعاد إصلاحه مرتين ثم يأخذ سبيله إلى سلة المهملات خلال أسابيع أن كان الإنسان سيئ الطالع أو خلال شهور في المتوسط أو سنوات أن كان الإنسان حريصا أو كانت اللعبة تمتاز بدرجة خاصة من المتانة. ويبدو أن اللعب اليوم لا تتحطم. فباونسر Bouncer كلب دمية أثير عند ابنتي ذات الأربعة عشر ربيعا وهو مصنوع في الولايات المتحدة، ويمكن غسله، وهو أصغر من صاحبته بسنتين، وقد دام عمره ثلاثة أضعاف عمر الدب الدمية قبل الحرب. ويبدو أنه مصنوع حتى

يرافق ابني طويلا خلال حياتها البالغة. وأنا سعيد فيما يتعلق بكل من باونسر وابني. إنما هو العدد العظيم من الأشياء-التي ليس لها فائدة مؤكدة وهي مصنوعة من نوع البلاستيك عادة-ذلك الذي يجعلني أتصور غرفا كاملة في بيتي قد تحولت إلى تخزين اللعب العزيزة المملوكة لأحفادي الأعزاء في عقد آخر من السنين..

وقد نتساءل: ما علاقة هذا بالميكروبات ؟ آه ! أرى أنك لحظت المسالة. ولكني سأتحدث عنها حتى أرضى نفسي على أي حال. فكما تجمع العائلة نوعا من النفايات التي لا تتحطم، كذلك يراكم الإنسان المتحضر على هذا الكوكب كمية من المصنوعات تبقى طويلا جدا. وهي مصنوعة من الخشب والحديد والخرسانة والطوب ومواد البلاستيك والصفيح والزجاج والفخار وهلم جرا.. وفضلا عن ذلك فالإنسان يستغني عن الملابس وبقايا الطعام وقشور الخضراوات ونفاياتها وأجسام بني جلدته وجثث الحيوانات الأليفة والمستأنسة والفضلات والورق وقلامات الشعر والأظافر ويلقى بها في الغلاف الحيوي لهذا الكوكب. فما الذي يمنعنا من أن نغوص حتى ركبنا في نفاياتنا ؟

سنجيب: الميكروبات. وهذا صحيح تماما. فالكائنات الدقيقة في التربة والماء وأجهزة المجاري وأكوام القمامة تحول نفايات الجنس البشري إلى مواد يمكن استخدامها من جديد أو على الأقل إلى مواد غير ضارة. وهنا تؤدى الميكروبات أعظم وظائفها قيمة للجنس البشري. ولتتخيل كيف تبدو الدنيا لو أن الخشب لم يتعفن ولو أن الأجساد لم تتحلل ولو أن الفضلات والخضراوات استقرت حيث وقعت.. . إلى آخره. انه موقف مستحيل بالطبع ؛ ذلك بان الدورات الحيوية كانت ستتوقف منذ أزمنة طويلة، ولكنه موقف يلقننا درسا في تقدير القيمة الاقتصادية للميكروبات. فالميكروبات ترجع المواد التي استخلصها الإنسان من الدورات الحيوية (التي ناقشناها في الفصل الأول). والتي تجعل الحياة مستمرة على هذا الكوكب. ورغم أن الإنسان يسهم بشيء عندما يحرق النفايات القابلة للاشتعال (إذ يعيد ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء إلى الجو وآثار المعادن في الرماد إلى التربة والماء) إلا أن هذه الأنشطة تلعب دورا تافها في دورة المادة البيولوجية. أن التحلل والتلف والتكسر نقائض النمو والتخليق والإنتاج ؛ ولكن أهميتها

مماثلة تماما بالنسبة للاقتصاد الأرض. لكنه من المؤسف أن أهميتها ليست واضحة في الاقتصاد عند الصناعيين. وسنجد من أجل ذلك عند بحثنا هذه العمليات هنا أن هناك فجوات في علمنا بميكروبيولوجية هذه العمليات. وسبب هذه الفجوات يكمن في أن الجهد البحثي من أجل تفهمها متوسط نسبيا. كان هذا الجهد بدوره محدودا بالمتاح من ميزانيات ومختبرات البحث العلمي الأساس في مجال الميكروبيولوجيا الاقتصادية، ولكن دعنا الآن من محاولة إصلاح هذا الوضع، ودعنا ننظر فيما تعمله الميكروبات من جانب «العائد» في اقتصاد هذا الكوكب.

إن الفساد والتحلل والتخلص أسماء ثلاثة لعمليات متشابهة ميكروبيولوجيا. ونحن نستخدم تعبير«الفساد» للدلالة على شئ نود لو أنه لم يحدث. وأما «التحلل» فهي كلمة محايدة على العموم. وتدل كلمة «التخلص» على شئ نحض عليه. وسوف نناقش التخلص في الفصل التالي.

وسننظر في هذا الفصل نحو الجانب الأسوأ من الصورة، ونلاحظ جوانب التآكل والتكسير والأنشطة المعوقة-بصفة عامة-التي تلعب الميكروبات دورا فيها حين نتعامل مع العالم غير الحي.

وسنفكر في بطوننا كالعادة أولا، فنبحث في تلف الطعام. ويفسد الطعام-كما يعرف كل إنسان-إذا احتفظ به فترة طويلة اللهم إلا إذا تم تمليحه أو تعقيمه أو تجفيفه أو تجميدة في الثلاجة-وتحدث عملية التلف عندما تنمو الميكروبات على الطعام أو داخله. فتغير قوامه ومذاقه ورائحته. أما العمليات المستخدمة في حفظ الطعام فهي تلك التي تؤخر نمو الميكروبات أو تمنعه.

ويبدو واضحا لكل من قرأ الفصلين الثالث والرابع أن جميع صور الطعام تقريبا تمثل وسطا طيبا لنمو البكتريا. إن طبقا من اللحم المطبوخ إذا ترك مكشوفا في مطبخ دافئ يوما أو يومين فانه يجمع كل الميكروبات المحمولة جوا والتي يتصادف وقوعها فيه بالإضافة إلى الميكروبات التي تخرج مع سعال وعطاس المارة من الناس والحيوان والتي تتساقط من أجنحة الحشرات وشعر الطاهية وملابسها. دعنا نتصور أننا جهزنا مكونات هذا الطبق وجمعناها معا دون طهي، كي يصيبها التلوث بالميكروبات من يدي الطاهية، وكي يتوفر تلوث نموذجي بميكروبات مختلفة من الفم والملوثات الأخرى لإناء الطهي الذي كان قد نحى جانبا منذ أن جفف بمنشفة قماش

ملوثة بعد آخر مرة غسل فيها. قد يبدو الأمر مدعاة إلى الكآبة، ولكن يظل «الخليط» عند هذا الحد آمنا تماما. فاغلب الميكروبات كامن، ولا يتكاثر منها إلا القليل، إن حدث تكاثر بالمرة، ومعظمها غير ضار، وان كان من المحتمل أن يوجد القليل من الميكروبات الضارة إذا كانت الطاهية مصابة بجرح متقيح في أحد أصابعها، وحتى في هذه الحالة يكون الخليط غير ضار. فاللحم وأنسجة الخضراوات سليمة إلى حد كبير، كما كانت وهي في الحيوان أو النبات الحي، كما أن الماء نقي إلى حد كاف. وتتغذى الميكروبات بصفة أساسية-على الملح أو التوابل. ولو تركنا المواد في مكان دافئ بضع ساعات لبدأت أنسجة اللحم والخضراوات في التحلل نتيجة تأثير الميكروبات من جهة ونتيجة العمليات الكيماوية الداخلية من جهة أخرى، ولأتيح للميكروبات نصيب اكبر من العناصر الغذائية كي تتكاثر. ولكن يظل الخليط مأمونا لفترة من الزمن. وعندئذ تغلى الطاهية الطعام عدة ساعات في كسرولة أو صينية فتموت كل الميكروبات. وتموت كذلك كل الجراثيم إلا إذا كانت الطاهية سيئة الطالع جدا. ولنفرض أن الطاهية جهزت كسرولة من اللحم المطبوخ. فلو أخرجتها من الفرن بعد ثلاث ساعات وقدمتها ساخنة لحصلنا على طعام مغذ نثق بأنه لذيذ قد أسهمت فيه الميكروبات التي تحدثنا عنها بنصيب ضئيل غير منظور. ولنفرض الآن أن شيئا تبقى من الطعام، وأنه قد برد، وبدأت الميكروبات الهوائية وميكروبات الشعر تتساقط فيه مرة أخرى، وأن أغلب العصارات المغذية قد استخلصت من المكونات الغذائية بعد طهيها، أن الميكروبات عندئذ تصادف مزرعة دافئة كاملة كتلك التي ناقشناها في الفصل الرابع وتشرع في التكاثر.

ولنفرض على سبيل المثال أن عشرة من بكتيريا ستافيلوكوكس دخلت في الطعام من إبهام أحد الناس بينا كان يحمله في الثامنة مساء بعد العشاء، وأن الطعام تمت تغطيته ونسيانه متروكا جانبا. إن المطبخ دافئ- هناك سخان في الجانب الأخر من الغرفة-وعلى ذلك تبدأ البكتيريا عملية التكاثر. أصبح هناك عشرون منها في الساعة التاسعة، وتصبح أربعين في العاشرة مساء، وتصير مائة وستين في منتصف الليل. ولو تصورنا أن الميكروبات تنقسم مرة واحدة كل ساعة-وهي تستطيع الانقسام بأربعة أمثال هذا المعدل في مكان دافئ حقا-لأصبح لدينا في اليوم التالي عند الظهر

نحو ستمائة ألف من البكتيريا في الطعام. وتبدأ رائحته الكريهة في الظهور نوعا ما ولكنه سيبدو طبيعيا حتى هذه اللحظة، وان كانت تفاعلات كيماوية باعثة على الكآبة تحدث فيه. (يجب أن يبلغ عدد الميكروبات مائة مليون في كل جرام واحد من الطعام [1] حتى يظهر فساده للعيان) إذ تتحول الأحماض الأمينية-وهي مكونات البروتينات في اللحم والخضراوات-إلى مواد تسمى البتومينات Ptomaines ومنتجات سامة نوعا نتيجة لنمو الميكروبات. ولنفرض أن الطاهية لا تلاحظ شيئا وإنما تسخن الطعام في الفرن للغذاء. فتموت الميكروبات وتظل البتومينات في الطعام مما يؤدي إلى واحد من ثلاثة احتمالات: فقد يضطرب الهضم عند من يتناول الطعام ولكن هذا الاضطراب سرعان ما يزول، أو قد يجد الأكل بعض التغير في المذاق دون مزيد من الضرر، أو قد لا يلاحظ شيئا بالمرة. ويعتمد الذي يحدث من هذه الأمور في الواقع على درجة دفء الطعام أثناء حفظه. فلو تم حفظه بجانب فرن لأصبح ساما تماما بعد ليلة، وقد يظل مأمونا تماما يوما واحدا بعد وضعه في خزانة باردة. ولا تنمو بكتيريا ستفيلوكوكس أبدا إذا حفظ العام في الثلاجة. إلا أن البكتيريا المحبة للبرودة (انظر الفصل الثاني) قد تنمو ببطء وتضيف بتومينات جديدة ولكن هذا يستغرق عدة أيام.

تصور الآن ما كان يحدث لو لم يكن الطعام لحما أعيد تسخينه، وإنما كان شطيرة يراد أكلها باردة. كان المتوقع أن يبتلع أيما إنسان أكلها جرعة كبيرة من البكتيريا الحية. وإذا اتفق أن كانت تلك البكتيريا ممرضة لتعرض الإنسان لعدوى مزعجة في الفم والأمعاء. تلك هي الكيفية التي تحدث بها أغلب حالات التسمم الغذائي: طعام سبق طهيه يخزن في مكان شديد الدفء ولم يسارع إليه الفساد اكثر مما ينبغي فحسب وإنما نمت فيه أيضا بكتيريا ممرضة انتقلت إليه من إنسان تداوله أثناء تحضيره. وهذا هو السبب في إضافة المواد الحافظة إلى الأطعمة الجاهزة. وهي في الواقع مطهرات لها على الإنسان تأثير محدود، ولكنها تصد عائلة الميكروبات. وإني أفضل شخصيا في كثير من الأحيان أن أستغني عن الأطعمة الجاهزة بدلا من تحمل المواد الحافظة الشائعة الاستعمال ولكن ذلك مسالة ذوقية.

وإذا كانت المواد الحافظة الكيماوية شائعة الاستعمال وليس في الإمكان تحاشيها فإن هناك عمليات كثيرة تقليدية متاحة في سبيل حفظ الطعام

من الميكروبات. فالتخليل بنقع الطعام في حمض الخليك (الخل) يحفظ الطعام بجعل حموضته أقوى من أن تتحملها الميكروبات. كما أن التحلية تحفظ أيضا كما في المربى والشربات لأن القليل من البكتيريا هو الذي يستطيع النمو في محاليل السكر القوية. أما الخميرة والعفن فتستطيع النمو في السكاكر الحافظة، ولكنها لا تحدث أذى في العادة. وإذا هو حدث فانه يكون من الوضوح بحيث لا يفكر أي إنسان في تناول الطعام. والتمليح طريقة في حفظ اللحم والسمك تعتمد على عجز أغلب بكتيريا التعفن عن النمو في الملوحة القوية. وحين يحتوي سائل التمليح على نترات البوتاسيوم أو نترات الصوديوم فإن ميكروبا يسمى ميكروكوكس دينايتريفيكنز microoccus denitrificans ينمو ويحول النترات إلى مادة حافظة تسمى النيتريت Nitrite. وتصنع هذه المادة مع بروتين اللحم مركبا أحمر أقل تعرضا بكثير لغزو الميكروبات العادية ويسمى اللحم «معالجا» cured. ولحم الخنزير عمر بسبب عملية المعالجة هذه. وليس لازما أن تنمو الميكروبات لعلاج اللحم (فمادة نيتريت الصوديوم لها تأثير مشابه) وقد خضع استعمال نيتريت الصوديوم للقانون في أغلب البلاد نظرا لما لها من سمية خفيفة[2] (ولكن غالبا ما يستطيع أن يضيف الإنسان أي قدر يريده من النترات وميكروبات م دينايتريفيكنز!) وهذا هو السبب في رؤية الإنسان نيتريت الصوديوم كثيرا كأحد عناصر اللحوم المعلبة فهي مادة حافظة وعامل معالجة. [2]

قد يحدث فساد الأطعمة المعلبة والمحفوظة في زجاجات إذا هي عقمت بغير إتقان وتنتج ميكروبات ديسلفوتو مكيولم نيجريفيكنز Desulfotomaculum nigrificans جراثيم تقاوم المعالجة الحرارية الطويلة. كما أن خلايا هذا الميكروب تستطيع أن تنمو عند حرارة عالية في محاليل السكر القوية. وهي ترحب تماما بالتعليب حيث أنها لا هوائية، وتنتج غاز كبريتيد الأيدروجين كريه الرائحة إذ أنها بكتيريا مختزلة للكبريتات (انظر الفصل الثاني). والسبب واضح في تسمية هذا النوع من فساد الأطعمة المعلبة (مثل الذرة المعلب) «النتن الكبريتي»[3]. ويتم تسخين المولاس-وهو ناتج سكري غير مكرر-إلى درجة حرارة عالية جدا عند تصنيعه حتى يسهل تدفقه وتبلغ سخونته عندئذ حدا كافيا لقتل أغلب البكتيريا ولكن بكتيريا د. نيجريفيكنز تنمو نموا طيبا جدا في هذه البيئة حيث إنها بكتيريا محبة

للحرارة. وهي مصدر إزعاج دائم في صناعة السكر. ويمكن أن تسبب ميكروبات أخرى لا هوائية مثل كلوستريديوم ثيهرموسكار وليتيكم Chlostridium thermosaccharolycum توليد غازات في الأطعمة المعلبة، فتحدث تأثيرا مفرقعا عند فتح العلب-ولكن كلوستريديوم بوتيولينم Chlostridium botulinum هو أخطر هذه البكتيريا اللاهوائية على الإطلاق، ويظهر أحيانا في اللحوم المعلبة أو المحفوظة في قدر. وقد صادفنا هذا الميكروب أول مرة في الفصل الثالث. وهو ليس مؤذيا بذاته، ولكن التكسين الذي ينتجه من أشد المواد المعروفة سيئة (وقد اقترح البعض استخدامه كسلاح في الحرب البيولوجية). ويتسبب مرض البوتيوليزم botulism-وهو مرض قاتل غالبا- من تناول الطعام الذي أصبح ساما بوساطة هذا الميكروب.

والعفن، mould يتلف الأطعمة كالخبز والجبن ونحو ذلك. وهو عادة يبدو واضحا للعيان ولا ضرر منه نسبيا. ولكن هناك تأثيرات أشد هولا. فالعفن من مجموعة أسبرجيللس يتلف الحبوب التي يتم اختزانها غير كاملة الجفاف. ويكمن حل هذه المشكلة بالذات في خزن الحبوب في مستودعات محكمة الغلق بحيث يعجز العفن عن النمو حين تنتج الحبوب له أثناء تنفسها قدرا كبيرا من ثاني أكسيد الكربون. وعفن أسبرجيللس فيوميجاتس Aspergillus fumigatus ضار بالدواجن، وهو ينمو خلال قشر البيض فينتج جراثيم عل السطح الداخلي فيصيب الفراريج الصغيرة بعدوى رئوية عند فقسها. وقد أصيب العمال القائمون على نتف ريش الحمام في فرنسا بدرن كاذب pseudo-tuberculosis من جراء نتف ريش الطيور المصابة. وقد برزت في الخمسينات حالة من أعجب ألوان التلف الذي تسببه الأعفان فيما يتعلق بإنتاج الفول السوداني. فقد يلوث أسبرجيللس فلافس aspergillus flavus-وهو عفن آخر-ما تجمع من المحصول. وعندما يحدث هذا، ينتج داخل البذور مواد سامة تسمى الأفلاتوكسينات aflatoxins. وقد تم اكتشاف هذه المواد أول مرة عندما أصيبت الدواجن الطاعمة من البذور بتلف الكبد. وقد تزايد الانزعاج إلى حد عظيم عندما ثبتت قدرة الأفلاتوكسينات على إحداث السرطان في الإنسان والحيوان، كما ثبت وجودها في مجموعات الطعام المهيأة للاستهلاك الإنساني كزبد الفول السوداني مثلا. ورغم أن الموقف الآن تحت السيطرة فقد أتى حين من الدهر كان احتمال وجود مادة

سرطانية في مستحضرات الفول السوداني مدعاة للقلق.

وتلف الأطعمة بوساطة الميكروبات مألوف لدى كل إنسان. ويمكن القول بان جميع تجارة الأطعمة وتوزيعها في كل المجتمعات المتحضرة قد بنيت على عمليات-تقليدية أو حديثة-تهدف إلى تأخير أو إيقاف التلف الميكروبي في المنتجات. وفكر في مشكلات توزيع السمك مثلا ووسائل التغلب عليها. فقد نشأت تكنولوجيا كاملة في ميكروبيولوجية الأغذية تتعلق بفهم ومكافحة عمليات التلف والعدوى والوقاية في صناعة الأغذية. وقد كانت الأمثلة التي ضربناها في هذا الفصل والفصل الخامس على سبيل التوضيح لا على سبيل الحصر ؛ ذلك بان بحث الموضوع بحق يستدعي كتابا قائما بذلك كما يصدق ذلك على كل فصل من فصول الكتاب. وأدعى إلى الاهتمام الآن أن نتحول إلى التأثير الهدام للميكروبات على مواد أخرى غير المواد الغذائية من أجل نظرتنا التلخيصية إلى الميكروبات والإنسان.

هل رأيت زوجا من الأحذية-أحذية الفلاحة مثلا-وقد نما عليها العفن ؟ أو هل لاحظت كساء العفن على السقف والجدران في بيت مهجور ؟ هذان مثلان على الميكروبات التي تهاجم وتتلف المواد التي يتوقع لها الإنسان أن تعمر بدرجة معقولة. والواقع أنني اخترت هذين المثلين بحرص نوعا ؛ ذلك بان المادة الأساسية في أي منهما تعتبر مقاومة لهجوم الميكروبات. فالجلد-حتى في البلاد الحارة-ذو مقاومة مدهشة لغزو الميكروبات، وإنما تهاجمه الحشرات والديدان. ولكن الدهانات والعوامل المحسنة المستخدمة في تلميع الجلد وتحسينه يمكن أن تهاجمها الميكروبات. وهذه هي المواد التي تستخدمها الأعفان كغذاء حين تنمو على الجلد ولكنها بعد النمو تنتج أصباغاPigments، وتآكل سطح الجلد وتجعل شكله قميئا على وجه العموم. وكذلك فتنمو الأعفان على جبس السقف وعلى الجدران ليس سببه في الواقع أن هذه الأعفان تستطيع استخدام الجبس نفسه كغذاء، ولكن لأن عوامل التحميل كالورق والعجينة المستخدمة للصقه على الجدران والسقف يمكن للأعفان أن تتغذى عليها. وتحتوي أغلب مواد الديكور عل مبيدات ميكروبية كي تمنع نمو الأعفان، ولكن حين يكون البيت فائق الرطوبة كان يكون حديث البناء أو مهجورا مثلا فان المبيدات الميكروبية قد تغسل وتزول فتنمو الأعفان. والبقع التي تسبب اكبر الإزعاج للسكان سببها جراثيم

الأعفان الملونة. ويمكن أن تسبب الأعفان في المناطق الحارة تلفا هائلا. وتحتوي جميع الدهانات والمواد الراتنجية والطبقات العازلة للأجهزة الكهربائية على مواد تدعم نمو الأعفان. والمعروف أن عفن أسبرجيللس ريستركتس Aspergillus restictus و أ. جلوكاس A.glaucus يتميزان عند نموهما بإنتاج مواد تحفر الزجاج، وقد أتلفت هذه المواد أثناء الحرب العالمية الثانية عدسات الكاميرات والنظارات ونحوها بالنمو كطبقة رقيقة على سطح الزجاج.

والخشب مادة مقاومة نسبيا، ولكن أي إنسان صادف التعفن الجاف في منزله سوف يدرك مدى ما يمكن أن يسببه غزو الفطريات للخشب من تكاليف ومتاعب. والخشب نفسه في هذه الحالة-لا الأصباغ التي قد تغطيه- هو المادة التي تنمو عليها الميكروبات. وهناك العديد من الفطريات التي تعفن الخشب تتراوح في أحجامها بين الفطريات الضخمة التي تشبه شرائح اللحم والتي يراها الإنسان في الغابات وعلى الأخشاب المتساقطة. وما هذه الشرائح إلا ما يعرف بالأجسام الثمرية لهذه الكائنات والفطر الدقيق النادر فائق النشاط المعروف باسم مايروثيكام فيروكاريا myrothecium Verrucaria والذي لا يرى إلا حينا ينتج جراثيمه. وتحمي دهانات الخشب مثل الكريوزوت Creosote من الفطريات المعفنة له فترة من الزمن قد تبلغ سنين، ولكن العلاج الناجع حقا هو أن نحفظ الخشب جافا. وتبقى عروق الخشب المستخدمة في التسقيف قرونا لو تفادينا الرطوبة حتى في بلد رطب كبريطانيا.

تلعب الميكروبات الهدامة دورا هاما في إعادة دورة العناصر البيولوجية، كما رأينا في بداية هذا الفصل، كما أن الفطريات المعفنة للخشب قيمة في الطبيعة لأنها ترجع الكربون الموجود في الخشب إلى الدورة البيولوجية. وتهاجم الفطريات الورق أيضا وتتلفه، وتلعب البكتيريا دورا أيضا في هذه الحالة. إن البكتيريا المحللة للسيليولوز-كما تسمى Cellulolytic-تكسر السيليولوز في الخشب والورق والمادة النباتية إلى أحماض دهنية بسيطة تستطيع الميكروبات الأخرى استعمالها. ولما كانت الفطريات تحتاج إلى الهواء كي تنمو نجد أن كومة من نفايات الحديقة تتحلل بالبكتيريا اكثر مما تتحلل بالفطريات، ويتكون الجزء الداخلي من كومة السماد من كتلة من

البكتيريا المختلفة اللاهوائية عادة، وتعيش كلها على المنتجات التي تنتجها البكتيريا المحللة للسيليولوز. والميثان (الغاز الطبيعي) أحد النواتج النهائية في هذه العملية كما رأينا في الفصل السادس. ومن المحتمل أن كومات هائلة من السماد الطبيعي تكونت على هذا النحو في الحقب الكربونية وكونت الفحم في النهاية. والعملية-على مستوى الحدائق لا تصل طبعا إلى مرحلة تكوين الهشيم peat لأنها توقف. ولكن كومة السماد-حتى على هذا المستوى الصغير-يمكن أن ترتفع حرارتها ارتفاعا كبيرا، ويستطيع الإنسان عندئذ أن يفهم السبب في الانتشار الكبير للبكتيريا المحبة الحرارة على هذا الكوكب (ينطلق جزء من الطاقة التي تولدها الميكروبات أثناء أيضها على هيئة حرارة تماما كما أحس أنا وأنت بالحرارة عندما نجري) إذ تزدهر هذه البكتريا أثناء عمليات التخمر الطبيعية التي تحدث على نطاق واسع..

وتستطيع الميكروبات أن تحلل الأصباغ، وهي هنا أيضا تستخدم المواد المضافة اكثر مما تستخدم الصبغة نفسها كما في حالة الجلد وجبس الجدران. فحمض الأوليك Oleic acid والمواد الشبيهة كزيت بذر الكتان تستخدم بكثرة في دعم المواد الملونة المستعملة في صناعة الأصباغ. وقد تهاجم البكتيريا والفطريات هذه المواد وتتلف الأصباغ سريعا وبخاصة في المناطق الحارة حيث تتعرض الأصباغ للأحوال الدافئة الرطبة. ومن الأمور الطريفة الجانبية لهذا كله-لو جاز للإنسان أن يدعوها كذلك-أن مركبات الزرنيخ ظلت مستخدمة حتى الثلاثينات كمواد ملونة في بعض الأصباغ وأوراق الجدران. ويستطيع كثير من الأعفان البدائية المنتمية إلى أجناس مثل اسبرجيللس وميوكور Mucor وبنسيليوم تحويل الزرنيخ إلى غاز الزرنيخ عندما تنمو على المواد الأخرى في صبغات الزرنيخ. وللغاز رائحة الثوم كما أنه سام للغاية. وقد حدثت وفيات لأن الناس تنفسوا هواء يحتوي على غاز الزرنيخ الناتج بهذه الطريقة خلال فترة زمنية طويلة. وقد سجلت آخر وفاة من هذا النوع في إنجلترا عام 1931.

وعادة ما يعد المطاط مادة ثابتة نسبيا، ولكن الواقع أن نوعا معينا من الأكتيفومايسيتات يهاجمه. وقد أوضح الدكتور لاريفيير La Riviere من هولندا أن الفواصل والمحابس المطاطية في جميع أنحاء العالم هي بمثابة «مزارع

إخصابية» لهذا النوع بعينه من الأكتينومايسيتات الذي يوجد في كل مكان.

ويهاجم هذا الكائن البوليمر Polymer نفسه (اللاتكس)[4] الذي يكون المطاط. ولكن هناك طريقة ثانية يمكن أن يتآكل بها المطاط بوساطة الميكروبات، وتعتمد على حقيقة أن المطاط الطبيعي يجب تقويته قبل استعماله. وتستدعي التقوية إضافة الكبريت إلى المطاط. وعندما يصبح المطاط مبتلا فان البكتيريا المؤكسدة للكبريت ثيوباسيللس ثيواكسيدانز thiobacillus thio-oxidans تنمو على حساب هذا الكبريت، فتحوله إلى حمض الكبريتيك-ويهاجم هذا الحمض المطاط وأية مادة ترتبط به. وقد حدث أثناء الحرب العالمية الثانية تلف بالغ للخراطيم في إدارة المطافئ القومية لهذا السبب. وكان العلاج تجفيف هذه الخراطيم بإتقان، وهو سبب الإصرار الشديد من قبل إدارة التدريب على هذا العمل (التجفيف) الذي يبدو كأنه من التفصيلات التافهة. وقد وصفت حالات مشابهة أدت إلى تلف الفواصل المطاطية التي تحكم إغلاق زجاجات حفظ الفواكه والمواد الأخرى. ويرتبط تلف المطاط في مثل هذه الحالات جميعها بتكوين حمض الكبريتيك. وليست هذه المرة الوحيدة التي نصادف فيها بكتيريا ثيوباسلس thiobacilli تسلك سلوكا هداما نتيجة لقدرتها على تكوين حمض الكبريتيك.

وبعض أنواع المطاط الاصطناعي (المطاط المُكَلْوَر chlorinated أو السيليكونات Silicones) وبعض مواد البلاستيك (بوليمرات الهيدروكربون المفلورة flourinated hydrocarbon polymers) فيما نعلم منيعة ضد غزو الميكروبات. والمدهش أن البوليثين Polythene الذي لم يكن موجودا على الأرض من قبل أن يصنعه الإنسان في الربع الأخير من هذا القرن تهاجمه اكتينومايسيتات التربة والبكتيريا. وقد تم إثبات هذه الحقيقة بشكل حاسم، منذ أوائل الستينات فقط. ويعجب الإنسان مما سوف يتمخض عن استخدام أنابيب البوليثين والبوليبروبيلين Polypropylene كل التي تم تمديدها في التربة بابتهاج كبير خلال الخمسينات والستينات كمهرب من تآكل الأنابيب المعدنية تحت الأرض. ولعلها تدوم مثل الأنابيب المعدنية زمنا لأن الأخيرة تتعرض أيضا للتآكل الميكروبي كما سنرى بعد قليل.

والبوليثين هيدروكربون صنعه الإنسان. ولعل السبب في أن بعض الميكروبات كيفت نفسها بسهولة نسبية لاستهلاكه هو أنها فيما يبدو تستطيع

استهلاك الهيدروكربونات الموجودة طبيعيا. وأكثرها شيوعا هي البكتيريا المؤكسدة للميثان، وهي بكتيريا قادرة على النمو مؤكسدة الغاز الطبيعي. ولكن البكتيريا والفطريات والخميرة التي تقدر على أكسدة الهيدروكربونات في النفط معروفة أيضا. وقد قابلنا في الفصل الخامس كلا من البكتيريا المؤكسدة للميثان والخميرة القادرة على استخدام الهيدروكربونات في النفط وظهرت في ذلك الفصل كمصادر ممكنة لبروتينات الطعام. وتوجد الميكروبات المؤكسدة للهيدروكربونات بصفة طبيعية في رواسب النفط. وقد استخدم المنقبون وجودها حول مناطق التسرب في التنبؤ باكتشاف النفط. وهي تصبح مصدر إزعاج عندما تصل إلى منتجات البترول المختزنة لأنها تتلف الوقود. ويتم اختزان البترول والكيروسين في خزانات ضخمة توجد في قاعها عادة طبقة من الماء. ولا يمكن تحاشي هذا القاع المائي في العادة. وعندما يكون مستودع التخزين قريبا فن البحر فان شاحنات النفط هي التي تضخ الوقود في المستودع، ويكون خرطوم الضخ مليئا بماء البحر في البدء. أما المستودعات البعيدة عن البحر فلا تتعرض للبلل بهذه الطريقة، ولكن البترول يذيب قدرا ملموسا من الماء ثم يطلقه عندما يبرد بحيث يتجه الماء إلى التجمع كطبقة في قاع المستودع حتى لو كان بعيدا عن البحر. وتنمو الميكروبات المؤكسدة للهيدروكربونات في هذا الماء وبخاصة عند السطح الفاصل بينه وبين البترول. ومن المهم التأكيد على أن هذه الميكروبات تنمو في الماء لا في النفط أو البترول أو الكيروسين (وقد رأيت تقارير علمية متخصصة عن الميكروبات في تكنولوجيا النفط لا تكون هذا المسالة واضحة فيها. ولذلك ربما وجب على أن أعيد التأكيد. أن الميكروبات تظهر في كثير من الجوانب المتعلقة بتكنولوجيا النفط بما فيها حالة التلف التي نحن بصدد مناقشتها. ولا تنمو الميكروبات في أية ناحية من هذه النواحي إلا في الماء) ويحدث دائما نمو الميكروبات في الماء تحت الوقود المخزون، وهي لا تسبب إلا ضررا بسيطا بصفة عامة. ويظهر في الماء كمية متوسطة من وحل الميكروبات sludge، وتستهلك هذه الميكروبات قدرا بالغ الضالة من الوقود وينشا ضرر طفيف. أما إذا غلظ الوحل كثيرا، وكانت دورة الوقود بطيئة أصبح الماء لا هوائيا، (أن الميكروبات تستنفد كل الأكسجين الذائب) وهذه بداية المتاعب. إذ ينشا النظام الكبريتي Sulfuretum-الذي بحثناه في

الفصل الأول-لأن البكتيريا المختزلة للكبريتات تنمو وتختزل الكبريتات الذائبة في الماء متغذية على المادة العضوية التي هيأتها البكتيريا المؤكسدة للهيدروكربونات (ويعتقد بعض الثقات أن البكتيريا المختزلة للكبريتات نفسها تستطيع أكسدة الهيدروكربونات باستخدام الكبريتات ولكن الدليل على ذلك غير مؤكد. ويتكون كبريتيد الأيدروجين ويلوث الوقود، متحولا على الأقل جزئيا إلى كبريت طليق وجاعلا الوقود سببا للتآكل في بعض أجزاء جهاز حقن هذا الوقود في الطائرات. وتحدث هذه المشكلة بصفة خاصة في المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية. وقد حدث عام 1952- ثم تكرر ذلك عام 1956 أن منعت بعض أسراب القوات الجوية الملكية البريطانية من الإقلاع في لحظات سياسية حرجة، بسبب التلف البكتيري للوقود الموجود في مستودعات التخزين. وعلامة مثل هذا التلوث هي زيادة في اختبار «شريط النحاس» وهو اختبار مبني على قياس السرعة التي تسود بها الكبريتيد في الوقود شريطا من النحاس اللامع. [5] ولا علاج للوقود إذا تلف سوى أن نستخدمه في مكنات أقل حساسية كالسيارات. وإنما تكون الوقاية أساسا، بإزالة مياه القاع بانتظام، وان كانت بعض الكيماويات النشيطة ضد البكتيريا المختزلة للكبريتات فعالة أيضا.

والأثر العادي للتلف الميكروبي للبترول أثر مالي بسيط إذ تقل قابليته للتسويق عما كانت عليه قبل التلف، ويخسر صاحبه المال. ولكن هناك حالات معروفة لتلف أخطر شانا ؟ إذ إن كبريتيد الحديد iron sulphide- الناشئ من اختزال الكبريتات بوساطة البكتريا-يتأكسد عند التعرض للهواء، وقد ترتفع حرارته في حالات نادرة إلى حد إشعال بخار البترول عند تنظيف المستودع. وقد حدث انفجاران خطيران في بريطانيا في الثلاثينات لهذا السبب.

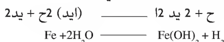
وليس البترول سوى واحد من الهيدروكربونات الكثيرة ذات الأهمية الاقتصادية. والأسفلت والبيتومين (= القار) خليطان من الكربون والهيدروكربونات يستخدمان في سفلتة الشوارع. وكلاهما يمكن أن يتحلل بوساطة بكتيريا التربة في الأجواء الرطبة والدافئة، وتسبب هذه العملية تلفا كبيرا في الطرقات في الولايات الجنوبية من أمريكا الشمالية. ولعل ذلك يحدث في أمكن أخرى. ولكن سبب التحلل هذا لم يعرف إلا حديثا

فقط وليست معرفته شائعة حتى الآن. وتستخدم أغطية البيتومين (= القار) لحماية الأنابيب المدفونة في الأرض. وتنقص بكتيريا التربة مرة أخرى من أعمار مثل هذه الطبقات من الطلاء بالتغذي عليها. وقد تحدث حالة متطرفة من غزو البكتيريا للهيدروكربونات. تلك هي اشتعال أكوام الفحم تلقائيا-حتى في المناطق المعتدلة الجو قد يسخن الفحم بطريقة غامضة، ثم يشتعل تلقائيا-ويرى أحد التفاسير الممكنة أن البكتيريا تؤكسد الفحم أو مكونات الفحم ، فتنطلق بعض الطاقة على هيئة حرارة-كما في حالة كومة سماد-بحيث إن الحرارة التي لا تخرج بسهولة في حالات خاصة تؤدي إلى دورة تأكسد تنتهي بالاشتعال. ولكن ينبغي أن نعرف بان وجود البكتيريا القادرة على ذلك لم يتيسر إثباته قط بصورة مقنعة، كذلك ليس من المعقول أن البكتيريا لديها القدرة على توليد حرارة تكفي لاشتعال الفحم. ولكن لدينا لسان النار، كما ذكرنا، ولا نملك حاليا تفسيرا أفضل من ذلك.

لقد أشرنا إلى تحلل أنابيب البوليثين الذي تحدثه الميكروبات وقد يتوقع الإنسان أن أنابيب الحديد أو الصلب منيعة ضد غزو هذه الكائنات، ولكن الأمر ليس كذلك في الحقيقة. فأنابيب الحديد وما عداها من أدوات الحديد التي لا تتم حمايتها بوسيلة أو بأخرى تصدأ في الهواء الرطب. وهذه الحقيقة مألوفة لدى معظم الناس كما أن ضرورة توفر الماء والهواء لحدوث الصدأ معروفة تماما أيضا. ولو غمس الإنسان مسمارا من الحديد مثلا في ماء نقي خال من الهواء، ثم أحكم غطاءه بحيث لا يتسرب أتليه الهواء لظل المسمار نظيفا لامعا سنين. وإذا سمحت للهواء بالدخول لصدئ المسمار سريعا. وأنابيب الحديد المدفونة في التربة مصونة من الهواء بصورة جيدة، وبخاصة حين تكون التربة مشبعة بالماء، كما أن هناك كثيرا من الميكروبات تستهلك أي هواء يتسرب إلى الأنابيب. ومع ذلك يمكن أن تتآكل أنابيب الحديد في هذه الأحوال أسرع مما يحدث في الهواء. والسبب في هذا التآكل معروف الآن إذ يرجع إلى تلك البكتيريا التي صادفناها كثيرا من قبل أي البكتيريا المختزلة للكبريتات. وقد قدرت الخسارة من تأكل أنابيب الحديد تحت الأرض في الولايات المتحدة الأميركية عام 1948 بمبلغ يتراوح بين 200 و 600 مليون دولار، وهي عملية خطيرة باهظة، وسنفرد لها

باهتمام مكانا صغيرا لدراسة دقائقها.

لو أخذنا كتلة من الحديد النقي غير الصدئ ووضعتها في الماء لتفاعلت وشطرت جزيئات الماء بحيث تنتج الأيدروجين وأيدروكسيد الحديد. وتكون المعادلة الكيماوية كالتالي:



ح + 2 يد 2ا ——— (ايد) 2ح + يد2

$Fe + 2H_2O \longrightarrow Fe(OH)_2 + H_2$

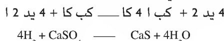
وينتهي التفاعل عادة حالما يبدأ لأن الأيدروجين يلصق بسطح الحديد ويمنع استمراره، وذلك حين لا يكون هناك سوى الماء. أما إذا كان الهواء موجودا فسوت يتفاعل الأكسجين الجوي مع الأيدروجين مكونا ماء مرة أخرى، وعلى ذلك تستمر العملية بغير انتهاء حتى يصدأ الحديد ويتآكل تماما (وقد يلاحظ القراء الذين يعرفون شيئا من الكيمياء أن الصدأ ليس هو أيدروكسيد الحديد [ح (ا يد) 2] وهذا لا يهم فالعملية التي وصفتها هي الخطوة الأولى في الصدأ. وبالرغم من أن جميع أنواع التفاعلات الإضافية تحدث، فلا صدأ للحديد ما لم تحدث هذه الخطوة الأولى) والبكتيريا المختزلة للكبريتات-كما رأينا في الفصل الثاني-لا تستخدم الهواء في التنفس وإنما تختزل الكبريتات بدلا منه، وسأكتب التفاعل مرة أخرى، لأوفر على القارئ جهد العودة إلى صفحات سابقة. وسوف استخدم كبريتات الكالسيوم كمثال:



كب ا$_4$ كا + طعام ——— كبريتيد الكالسيوم + طعام مؤكسد

CaSO4 + Food ——— CaS + oxidized food

فهذه البكتيريا تحول كبريتات الكالسيوم إلى كبريتيد الكالسيوم مؤكسدة أية مادة متاحة كغذاء، ولهذه البكتيريا أيضا خاصية القدرة على استخدام الايدروجين في هذا التفاعل:



4 يد 2 + كب ا 4 كا ——— كب كا + 4 يد 2 ا

$4H_2 + CaSO_4 \longrightarrow CaS + 4H_2O$

وبالرغم من أن الأيدروجين ليس طعاما بتعبير دقيق (إذ لا يحتوي على الكربون) إلا أن هذا التفاعل يزود البكتيريا بالطاقة ومن ثم فيمكنها استخدام ما يتاح من مثل هذا الطعام المحتوي على الكربون بمزيد من الاقتصاد. وإذا

واجهت البكتيريا أنبوبا من الحديد تحميه طبقة من الأيدروجين فأنها تستخدم هذا الأيدروجين لاختزال الكبريتات، وتحوله إلى ماء، وعلى ذلك يتآكل الحديد. ثم يتفاعل الكبريتيد فيما بعد مع بعض الحديد لينتج كبريتيد الحديد، وعلى ذلك يستطيع الإنسان دائما أن يتعرف عل هذا النوع من التآكل تحت الأرض، لان نواتج التآكل تحتوي على كبريتيد الحديد وهو أسود اللون وليس بنيا، وله غالبا رائحة كريهة مميزة.

وتآكل أنابيب الحديد تحت الأرض-كما أشرت-من اكثر ألوان التآكل الميكروبي إهدارا للما ل، ولدينا قدر من العلم بكيفية حدوثه والوقاية منه. ويهاجم التآكل أنابيب الغاز والماء وأنابيب المجاري. وهو يتلف الإنشاءات البحرية لأن البكتيريا المختزلة للكبريتات تترعرع في مياه البحر، كما أن التآكل يتلف هيكل السفن. ولكن ليس هناك علاج يسير. ويبقى المبدأ الأساسي: لا تدفن أنابيب الحديد إلا إذا عجزت عن أي وسيلة أخرى. وإذا دفنتها تحر أن تجعل الهواء يصلها بحرية أو أطلها بطلاء كثيف بحيث لا تستطيع البكتيريا أن تخرقه إلى المعدن (تذكر أن القماش والبيتومين والشمع والأصباغ ومواد البلاستيك تتحلل بوساطة البكتيريا، وتذكر أنك حين تجد طلاء مناسبا لا يمكن أخرقه، فإن أحد العمال المهملين قد يجعله منفذا مرة أخرى إذا هو أتلفه أثناء عمله. وهناك وسائل كيماوية كهربية للوقاية، وهي مكلفة، ولكن لعلها تستأهل على المدى الطويل)، وحتى أنظمة المياه الساخنة ليست منيعة ضد التحلل من هذا النوع لأن بعض السلالات من البكتيريا المختزلة للكبريتات (ديسلفوتو ماكيولم نيجر يفيكنز Desulfomacululm nigrificans التي صادفناها ونحن نتحدث عن تلف الطعام) هي بكتيريا محبة للحرارة، بل هي تستطيع في مثل هذه الأحوال أن تسبب التآكل في أنابيب النحاس المستخدمة في أنظمة المياه الساخنة المنزلية، لأنها تنمو في الأماكن الأبرد من الجهاز الدوري، وينتشر الكبريتيد الذي تنتجه هذه البكتيريا في كل الأنابيب، فيهاجم النحاس ويحوله إلى كبريتيد النحاس. وقد أخذت حمامات ساخنة في الولايات المتحدة كانت لها رائحة شبيهة برائحة الينابيع في بلدة باث Bath [6]. وقد لاحظت آسفا أن جهاز المياه المنزلية عند مضيفي على وشك الانهيار في غضون عام أو عامين. وهو موقف عجيب شبيه بالموقف الذي يثير التساؤل: هل يبوح الطبيب ؟ وقد

كانت لدي الشجاعة مرة لأفعل ذلك، وبلغ الانزعاج مبلغا من مضيفي حين قلت له إن المياه الساخنة عنده لها رائحة البيض الفاسد بحيث كان الأرفق به أن أتركه سادرا في جهله (وكانت الرائحة قد نشأت في بدء بحيث تعود عليها مع عائلته). ومن يمن الطالع أنه كان ميكروبيولوجيا، فاستعاد ثقته بسرعة، ثم ماذا كان الحل ؟ باع منزله واشترى منزلا آخر. وقد تسال: ما الفارق بين العالم وتاجر السيارات المستعملة ؟ ولتعذرني حين أتفادى إجابة هذا السؤال. ويمكن أن يسال الإنسان هذا السؤال المعقول: إذا كان اختزال الكبريتات بوساطة البكتيريا المختزلة لها هو العملية الأساسية التي تسبب التآكل تحت الأرض فلماذا لا نتخلص من الكبريتات، وعندئذ تتوقف العملية كلها ؟ والحق أن هذا صحيح، ولكن إزالة الكبريتات من الناحية العملية مستحيلة. أن العسر [7] في مياه الصنابير العادية يرجع بصفة رئيسة إلى كبريتات الكالسيوم. وتحتوي كل مياه التربة على الكبريتات، كما يحتوى الجص ومواد البناء الأخرى على كميات من كبريتات الكالسيوم. وهناك ثلاث مواد لا تنفصل في الحياة اليومية: الماء والطين والتراب، وهي جميعا مصادر الكبريتات لهذه الميكروبات. وليس هناك أي مكان على هذا الكوكب تقريبا يبقى فقيرا في الكبريتات زمنا طويلا. وتحتاج البكتيريا على كل حال إلى كمية قليلة جدا من الكبريتات، وهي ليست في عجلة من أمرها. وقد أستغرق أسرع تآكل معروف في مواسير المياه نحو ثلاثة أعوام. وحتى أنواع التربة الفقيرة في الكبريتات-والتي سوف نذكرها في الفصل الحادي عشر-قد تحتوي على كمية من الكبريتات تكفي لكي تنمو عليها تلك البكتيريا. وإنما يظهر النقص في التربة في حالة المحاصيل الزراعية التي تحتاج إلى كمية من الكبريتات أعظم بكثير مما تحتاجه البكتيريا.

وليس التآكل تحت الأرض هو الأسلوب الوحيد الذي تهاجم به الميكروبات المعادن ولكنه أهم الأساليب (ويجب أن أذكر-من اجل الاستيفاء-أن التآكل يمكن أن يحدث دون تدخل الميكروبات ولكن الأسباب هنا في العادة أسباب خاصة. والتآكل تحت الأرض تسمية خاطئة وان كان شائع الاستعمال و«التآكل البكتيري» مصطلح أفضل) إن الميكروبات العادية التي تنمو في طبقات الماء الرقيقة على المعادن يمكن أن تزيد من سرعة التآكل العادية وذلك من خلال تغيير الصفة الكهروكيميائية لسطح المعادن بطرق لا نستطيع هنا

مناقشتها. (وقد يحب المتخصصون أن نقول لهم أنها تكون خلايا هوائية فارقة differential) aeration cells والبكتيريا التي تنتج الأحماض-مثل ثيوباسلس thiobacilli يمكن أن تولد من الأحماض ما يكفي لإتلاف المعادن والمكنات. والأعفان-كما رأينا-تستطيع غزو أغلفة الكوابل والأسلاك، وحيثما فعلت ذلك فان بعض المنتجات التي تصفها من مواد التغليف تهاجم المعادن. ويمكن أن يتآكل كل من الرصاص والزنك بهذه الطريقة. ويكون الناتج من فعل الميكروبات في هذه الحالات هو سبب التآكل.

ولعل المثل الكلاسيكي على التآكل بوساطة منتجات الميكروبات هو مرض الأحجار والخرسانة. أن معبد انجوروات Angkorwat في كمبوديا يبدو أثرا عظيما للعمارة القديمة في الملايو. وهو أقدم من معظم المباني الأوروبية (وقد رأيت صورا له فقط) وهو الآن يتحلل بد بين الأحراش التي تعلو عليه. والسبب في انهياره-حسب رأي الدكتور بوشون pochon وزملائه في معهد باستور في باريس-هو أن الأحجار تتشبع بالكبريتيد الموجود في تربة المناطق الحارة الملوثة نسبيا والتي بني عليها المعبد. وقلما يحتاج القارئ الآن التي تذكيره بان البكتريا المختزلة للكبريتات تصنع هذا الكبريتيد. ويتأكسد الكبريتيد على سطح الأحجار إلى الكبريت وحمض الكبريتيك بوساطة ثيوباسلسthiobacilli. وهذا الحمض هو الذي يحطم الأحجار. أن معبد آنجور وات يمثل حالة مأساوية خاصة من التآكل الميكروبي للأحجار، ولكن هناك حالات كثيرة مشابهة معروفة حدثت قريبة من ديارنا. وقد وجد أن التماثيل الحجرية في باريس تتآكل بطريقة مشابهة. وغالبا ما تصنع مواسير المجاري من الخرسانة، وفد تتآكل بسرعة لأسباب مماثلة: ويأتي الكبريتيد في هذه الحالة من المجاري نفسها وينتشرعلى هيئة كبريتيد الأيدروجين إلى أن يصل إلى أسطح المواسير الخارجية وهنا تحوله بكتيريا ثيوباسلس إلى حمض الكبريتيك. ومن خصائص هذا النوع من التآكل أن أسطح المواسير تتقعر إلى الداخل. ويحتوي كثير من النفايات الصناعية السائلة على الكبريتيد وعلى ذلك أصبح معروفا أن أبراج التبريد ومواسير الخرسانة وأغطية الأقبية الخرسانية تتآكل لأسباب مشابهة. ومع كل فلا ينبغي الافتراض بان كل تآكل الأبنية يرجع إلى أسباب بكتيرية، فأكسيد الكبريت عناصر رئيسة في التلوث الجوي. وربما أن لهذه الكيماويات تأثير كبير

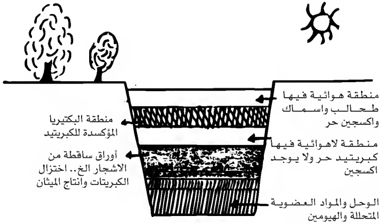
كالذي للميكروبات. إن كنيسة وستمنستر تتآكل مثلا نتيجة عملية تشتمل على تكوين حمض الكبريتيك ولكن بكتيريا ثيوباسلس لا تلعب إلا دورا ضئيلا في ذلك، أن كان لها دور على الإطلاق وإنما هو جولندن الملوث الذي يمثل المصدر الرئيسي لأحماض التآكل.

ونستطيع أن نستمر في مناقشة الفساد الميكروبي بغير نهاية. وأنا ما قلت شيئا عن التلف الذي يمكن أن تسببه الأعفان والبكتيريا المحللة للسيليولوز والبكتيريا المختزلة للكبريتات في صناعة الورق، وما يمكن أن تتلفه الميكروبات من المستحلبات الشاحذة في صناعة عدد المكنات والتي قد تصبح قادرة على نشر الأمراض، وكيف تستطيع البكتيريا المختزلة للكبريتات وغيرها أن تسد آبار النفط، وكيف تستطيع بكتيريا الحديد والطحالب أن تعوق مصادر المياه والمرشحات، وتسبب ما يسميه مهندسو المياه «كارثة المياه» water calamity وهي تسمية جذابة.

ولكن من واجبنا أن نقول شيئا عن مسالة تلوث الماء، ذلك بان كل من استحم في بحار هذه الجزيرة»[8] وأنهارها يعرف شيئا عن التلف الذي يسببه التلوث. فإذا وقعت في الماء أية مواد عضوية مثل أوراق الأشجار وورق الكتابة والطعام ونحو ذلك نمت الميكروبات وأصبح الماء ملوثا. ويمكن أن تتحمل مياه البحار والأنهار الجارية قدرا معقولا من التلوث، ذلك بان هناك في الماء قدرا كبيرا من الهواء المتاح. وتستطيع الميكروبات أكسدة المواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون ونواتج مثل الليجنين والهيومين وهي منيعة بصورة طيبة ضد غزو الميكروبات، وترسب إلى القاع بلا أذى. وإنما يحدث التلوث الخطير في الماء شديد الركود، بحيث تستهلك الميكروبات كل المتاح من الهواء. ولا يقتصر الأمر عندئذ على نمو البكتيريا اللاهوائية، وأثارتها لروائح التعفن فحسب، وإنما تموت الأسماك والنباتات أيضا مما يجعل التلوث أسوأ. وتبدأ البكتيريا المختزلة للكبريتات في النمو عاجلا أو آجلا كذلك ولما كان ما تولده من كبريتيد الأيدروجين ساما لأغلب الكائنات الحية كما هو كريه الرائحة بصفة مميزة فأنها تزيد من التلوث. وعلى ذلك يتزايد التلوث الماء الميكروبي من تلقاء نفسه. ويكون إيقافه-حالما يبتدئ- أصعب بمراحل من منعه.

إن في البحيرات الطبيعية والبرك مناطق ملوثة قريبا من القاع حيث

يوجد الكبريتيد الطليق، وفاك فوق هذه الطبقة مباشرة منطقة من البكتيريا المؤكسدة للكبريتيد تستخدم هذا الكبريتيد. ولما كان كثير من البكتيريا المؤكسدة للكبريتيد من ذوات التغذية الذاتية الضوئية (أي أنها تحتاج إلى الضوء من أجل النمو)-كما رأينا في الفصل الثاني-فإن سمك هذه الطبقة البكتيرية يعتمد على مدى صفاء الماء والمدى الذي ينفذ إليه الضوء. وتنمو فوق هذه الطبقة الأسماك والطحالب والعوالق (البلانكتون) وتكون البحيرة كلها نظاما مستقرا وتستمر دورة الكبريت بهدوء في أدنى فعل لها. والبحيرات والقنوات وحتى البحار (مثل البحر الأسود) تشبه ذلك. ويوضح الرسم التالي نظاما نمطيا لما يحدث:



ويمكن أن يكون للتلوث الناجم عن المجاري أو النفايات الصناعية مثلا آثار الكارثة على التوازن الطبيعي، فبسبب اتساع المنطقة اللاهوائية بحيث تشمل النظام المائي كله. وتحدث أحيانا حالة مؤقتة عندما تستحيل البحيرة كلها أو المجرى إلى اللون الأحمر نتيجة لنمو بكتيريا الكبريت الملونة، وقد صادفت مرة بحيرة للزينة في ميدلسكس Middlesex [9] بدت كما لو أنها تحتوي على طلاء احمر. ولكن هذا الموقف يعتمد على بقاء الكبريتيد في تركيز دقيق، ونادرا ما يستمر طويلا. هل تذكر على الرغم من ذلك؟ [10] (.. وتحول كل الماء الذي في النهر دما. ومات السمك الذي في النهر. وأنتن النهر فلم يقدر المصريون أن يشربوا ماء من النهر..» (سفر الخروج-الإصحاح

السابع 20 , 21) وربما أعانت موسى البكتيريا الملونة والمؤكسدة للكبريتيد من جنس الكروماتيوم chromatium لأن وادي النطرون في مصر-وهو غني بهذه الميكروبات-يرتبط تقليديا بالطاعون الأول. وكثير من المياه الملونة يرجع إلى بكتيريا الكبريت، وهي تتميز بان لها رائحة كبريتيد الأيدروجين. ويمكن أن تسبب المجموعات الكثيفة من الطحالب البنية والطحالب الخضراء، وكذلك النباتات المائية الصغيرة مثل هذه الألوان.

إن الألسنة الضحلة لنهر التيمز Thames مثل طيب على نهر متوسط التلوث، شديد السمية للأسماك وفيه مستوى معتدل من الكبريتيد في أغلب الأحيان. وتتآكل هيكل السفن فيه ويغمق لون الطلاء وتفوح من حول المكان رائحة كريهة عامة. وغالبا ما تكون عوادم المياه الصناعية على هذه الصورة، على الرغم من جهود الحكومة التي تهدف إلى السيطرة على مثل هذا التلوث. وإذا كانت الصناعات مسئولة عن إثارة التلوث غالبا، فان الهيئات الصناعية الكبيرة اليوم مسئولة إلى حد معقول عن منع التلوث في المجاري المائية الداخلية في البلاد. أن من يذكي نار هذه المشكلة اليوم باستمرار هو المنتج الصغير، أو المنزل العائم (العوامة) أو المجاري التي لا تخطر ببال أحد. إن المجاري يتم تصريفها في الأنهار فقط بعد معالجة مضبوطة جدا، ولا ضرر منها عادة. أما تصريفها في البحر فتنظيمه أقل عناية. ومن حسن طالعنا-كما لاحظنا في الفصل الثالث-أن ملوحة ماء البحر تقتل أغلب الميكروبات في المجاري. وتكون المياه عند مصب الأنهار شديدة التلوث غالبا. أما الرمل الأسود المألوف عند المنتجعات في هذه الجهات فهو أسود لأن الكبريتيد-الذي تولده البكتيريا المختزلة للكبريتات يتفاعل مع أملاح الحديد في الرمال، وينتج كبريتيد الحديد الأسود. ثم تتحول الرمال عند التعرض للهواء إلى اللون البني مرة أخرى لأن الكبريتيد يتأكسد، ويتحول إلى أكايد الحديد البنية. وفي المناطق الدافئة، وبالذات في الجو الاستوائي يمكن أن تترعرع في مثل هذه الرمال والمياه الملوثة كميات من البكتيريا المضيئة، بحيث يلتمع بالضوء في الليل كل أثر لقدم أو حركة في الماء-إن البكتيريا المسئولة عادة هي اكرو باكتر فيشرباي Achrobacter fisherii، وتتوهج هذه البكتيريا عندما يبلغها الأكسجين من خلال تقليب البيئة بسبب ضغط الأقدام أو تموجات المجاديف. ويمكن لهذا المشهد في

الطبيعة أن يكون دراميا ورومانسيا في نفس الوقت. ومن المؤسف أن الرائحة لا تدعو إلى الرومانسية. (نحن لما نصادف البكتيريا المضيئة من قبل في هذا الكتاب. وهي مجموعة صغيرة من البكتيريا يسبب أيضها إطلاق الضوء بعملية كيماوية حيوية مشابهة لما هو موجود في فراش النار، وتحتاج البكتيريا في هذه العملية إلى الهواء. وقد تعيش حرة في البحار أو في الأعضاء المضيئة في أسماك البحار العميقة).

وفينيسيا إحدى أجمل المدن في العالم ا الغربي تمثل مرفأ للميكروبات الملوثة. وقد أجاب زميلي ك. ر. بوتلين .K.R.Bultin على السبب في سواد قوارب الجندول. وأشار إلى أن القوارب تتحول إلى السواد سريعا مهما كان لون طلائها نتيجة لتلوث القنوات بكبرتيد الإيدروجين. ومن أين يأتي الكبريتيد ؟ الإجابة من أصدقائنا القدامى: البكتيريا المختزلة للكبريتات. ويمكن أن يحدث تلوث المياه من هذا النوع في الطبيعة على نطاق واسع دون تدخل الإنسان. إن خليج والفيس Walvis-وهو منطقة على ساحل إفريقية الجنوبي الغربي-يعاني من تساعد كبريتيد الأيدروجين من قاع البحر من آن لآخر فيقتل الأسماك في مساحات شاسعة-وتحمل رياح البحر قدرا كبيرا من الكبريتيد بحيث تسود المصنوعات المعدنية والطلاء في مدينة الشاطئ سواكوبموندل Swacopmund وتخفي وجه ساعة المدينة. ويقول صحفي محلي بتعبير مثير: «تأتي أسماك القرش إلى السطح وهي تلهث عند المد في المساء». وقد شاهدت صورا للساحل قريبا من سواكويموند تتراكم فيها الأسماك الميتة بعمق نحو ثلاثة أقدام نتيجة «اضطراب» كهذا عام 1954. ومن الواضح أن رائحة الأسماك المتعفنة قد أضافت شيئا لاذعا إلى الرائحة الكبريتية العامة عندما بدأ التعفن. وهذه من أشد العواقب المؤثرة لنشاط البكتيريا المختزلة للكبريتات، وهي عاقبة لا يمكن السيطرة عليها أبدا.

ونستطيع-كما ذكرت آنفا-أن نمضي في هذا الموضوع بغير انتهاء، ولكن الأمثلة التي ضربتها كافية لتوضيح التشعبات غير العادية للميكروبات فيما يمكن أن يسميه الإنسان الجانب السلبي في اقتصاد الجنس البشري. وقبل النظر في الجانب المقابل وكيفية الإفادة من هذه الاتجاهات الإيجابية هل هناك حكمة نستطيع استخلاصها ؟ أظن أنها موجودة. فلو قارنا عدد

الأبحاث في تحويلات الاستيرويدات والمضادات الحيوية بالجهود المبذولة مثلا في بحث البكتيريا المختزلة للكبريتات وميكروبيولوجيا المياه لوصلنا إلى استنتاج محزن مفاده أن الأبحاث التي تجني من ورائها إحدى الشركات أرباحا طائلة تجد دعما بالتأكيد. كما أن الأبحاث التي تبشر اليوم بالربح ذات فرصة طيبة في الدعم لأن أغلب الصناعيين لهم تفكير علمي إلى حد مناسب. لكن الأبحاث التي تعني بالاقتصاديات فقط أو يقتصر دورها على زيادة الخير العام للجماهير، دون عائد واضح لفرد معين أو مجموعة معينة فهي لا تجذب أحدا من الناس. وإنما تتحقق فحسب لأن الأمور يفلت زمامها. وقد يقحم على تناولها من ليس كفئا لها. والنتيجة: إجراء بحث رديء للغاية، ونشره في المجلات العلمية. والأخطر من ذلك حقا أن يهدر بحث غاية في الجودة، لأن إنسانا يساهم بنصيب في العمل يتلكأ ببحث جزئية من الموضوع لا أهمية لها على الإطلاق، من الناحية العلمية. والمشكلة في الأساس مشكلة إدارية، فليس هناك سبب علمي لهذا الإهمال. أن الأسئلة التي تثيرها الميكروبات العجيبة المتعلقة بالعمليات الهدامة-والتي ناقشناها-ذات أهمية فائقة في أعماق العلم لأنها تمثل الأطر الكيماوية للأحياء، أي الأبعاد القصوى للكيمياء الحيوية على الأرض.

8 التخلص

نظرنا-في الفصل السابق-إلى الآثار الهدامة التي يمكن أن تحدثها الميكروبات في المواد-ولاحظنا في البداية أن هذه الآثار الهدامة تمثل وظيفة هامة تؤديها الميكروبات في الاقتصاد الطبيعي لهذا الكوكب، وهي إزالة النفايات التي تولدها النباتات العليا والحيوانات حتى تعيد دورة العناصر البيولوجية الهامة التي تحتوي عليها النفايات. إن التلف والتحلل والتلوث حيا تحدث بوساطة الميكروبات إنما تمثل-ببساطة-حالات خاصة من هذه الوظيفة العامة. وينطبق ذلك أيضا على عمليات التخلص التي تستخدم فيها الميكروبات للتخلص من المواد التي لا نرغب فيها.

إن معالجة فضلات المجاري أهم الأمثلة على عملية التخلص الميكروبيولوجية، وسوف ننفق وقتا قصيرا في مناقشتها حيث أنها أساسية لصحة المجتمعات المتحضرة كلها كما أنها من الناحية الفكرية من أدعى صور الميكروبيولوجيا التطبيقية إلى الرضا.

لم يكن التخلص من فضلات المجاري مشكلة كبرى، عندما كان عدد السكان قليلا. وكان لليونانيين والرومان أنظمة صحية إذ كانوا في

الغالب يبنون حماماتهم ودورات المياه فوق المياه الجارية أو قريبا منها. وهذه الأنظمة في تصريف المجاري هي غالبا كل ما تبقى من آثار المجتمعات الرومانية، ثم هبطت المستويات، وتدلنا أوصاف الحياة في العصور الوسطى وخلال عصر النهضة أن المساكن الأدمية لا بد أنها كانت أشبه بحظائر الخنازير، إذ كان التدرج والزوايا المهجورة تستخدم كدورات مياه، وكانت القمامة تلقى في الشوارع وأواني البول، تفرغ فيها أيضا، ونادرا ما كان الناس يستحمون. ويمكن فهم السبب في انتشار استعمال العطور وباقات الزهور الصغيرة nosegays. ولما انتصف القرن التاسع عشر وزاد عدد السكان في المدن نتيجة الثورة الصناعية أصبح من الواضح أن هذا السلوك خطير كما أنه غير مقبول.

وكانت أمراض كالتيفود والكوليرا متفشية. وأصبح نهر التيمز في عام 1860 مصبا مفتوحا عظيما للمجاري وكانت تجرى فيه نفايات لندن التي تجرفها مياه الأمطار. وقد ابتدأت الإجراءات المدنية في جميع المجاري ومعالجتها في بريطانيا بقوانين الصحة العامة لعامي 1845 و 1876 وبلجنة ملكية في عام 1898. ومنذ أوائل القرن العشرين أصبحت فضلات المجاري تجمع وتصب في أنابيب في أغلب مراكز المدن، وإن كانت المعالجة الوحيدة التي كانت تتلقاها هي في اغلب الأحوال مجرد صرفها في أراضي البلديات (وكانت تزرع بمحاصيل كالطماطم وهذا أصل التسمية بمزرعة المجاري sewage farm). وكانت المياه تصبح نقية بعد تسربها في طبقات التربة التي كانت تصبح خصبة عن غير قصد. ولكن سرعان ما بدا واضحا أن تنقية المياه كانت عملية عشوائية وأن هناك خطرا بالغا في وصول المياه الملوثة إلى آبار الشرب ما لم تكن هناك معرفة مفصلة بسريان المياه تحت الأرض. ورغم أن بعض مزارع المجاري ما زالت موجودة (ومازالت فضلات المجاري الفجة تصرف مباشرة في البحر في كثير جدا من المناطق الساحلية) إلا أن تكنولوجيا المجاري قد قفزت خطوات هائلة في نصف القرن الأخير، وصارت معالجة المجاري عملية ذات كفاءة وأتوماتيكية عالية.

ويمكننا الحصول على فكرة عامة عن حجم المشكلة بذكر بعض الأرقام. يستخدم السكان في ميدلسكس الغربية West Middlesex نحو 50 جالونا من الماء يوميا لكل نسمة. وكلها تجرف النفايات إلى مصانع المجاري المحلية.

ويجب أن يتناول المصنع الذي يخدم مليونا ونصف مليون من الناس اكثر من 75 مليونا من جالونات المجاري غير المعالجة يوميا. ويجمعها المصنع من خلال شبكة محلية من الأنابيب الآتية من المصارف والبالوعات والحمامات ودورات المياه ومصارف الفضلات الصناعية السائلة (جهاز المجاري). وتمثل هذه المجاري ما يقارب خمسة آلاف طن من المادة العضوية. وينبغي أن تعمل لها شيئا قبل وصولها إلى الأنهار أو البحار وإلا سببت تلوثا لا يمكن تصوره حين تعيد الميكروبات المائية دورة ما في المجاري من الكربون والنتروجين والكبريت والفسفور ونحو ذلك. والذي يعمله مصنع المجاري في الواقع هو أن يجعل هذه العمليات مستمرة في ظروف مضبوطة بحيث تتم تنقية المياه التي حملت فضلات المجاري وتصبح العناصر الصلبة في المجاري غير ضارة. وتحقيق ذلك أمر هين بوساطة أساليب تنقية المجاري الحديثة ؛ وتصبح المواد الصلبة المعالجة في حالة تيسر بيعها كمحسنات للتربة أو مخصبات. وتبلغ المياه المعالجة حدا من النقاوة يدعو العاملين في مصنع موجدن Mogden في مدل سكس مثلا إلى ضرب المثل على نقاء ماء الفضلات بشرب كوب منه أمام الزائرين. (ولا يدري الزوار أنهم أنفسهم يعملون شيئا من نفس القبيل يوميا. فاقتصاديات المياه في هذه البلاد [1] مصممة بحيث يعود قدر كبير من مياه المجاري بعد تنقيتها إلى خزانات مياه الشرب مرة أخرى... وفي بعض الأحيان أتساءل قبل شرب كوب من الماء: ترى كم شربها غيري من قبل.. . وليس لدي حساب لهذا الرقم...) [2]

تتكون فضلات المجاري لمدينة نمطية-كما رأينا-أساسا من مياه الغسيل القادمة من البالوعات ودورات المياه والحمامات مختلطة ببعض الفضلات الصناعية السائلة وقدر معين من مياه المصارف الطبيعية. وقليل من التفكير يوضح أن العنصر الرئيسي هو فضلات البراز الآدمية مضافا إليها الشعر والورق ونفايات الطعام والمنظفات. فالمجاري مواد صلبة غنية بالبكتريا معلقة في محلول قوي نوعا من المواد العضوية، وفي وسط مناسب للغاية لنمو البكتيريا. ويمكن وصف طريقة معالجتها أحسن وصف عندما نتصور مصنع المجاري وسوف أقدم فيه عمليات معالجة المجاري الرئيسية المستخدمة الآن.

تجري فضلات المجاري إلى مستودعات الترسيب settling tanks حيث

ترسب المواد الصلبة على هيئة وحل في القاع. وتسمى المواد المترسبة «الوحل المترسب»settled sludge، وسأصف ما يجري عليها بعد قليل. أما المكونات السائلة فتجرى إلى برك خاصة حيث يتم تقليبها وتهويتها بشدة بحيث تنمو فيها البكتيريا الهوائية وتؤكسد أغلب المواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون. ويهرب الغاز إلى الجو، وبذلك تتم إحدى عمليات التنقية. لكن عددا اكبر من البكتيريا يكون قد نما في السائل، ولذلك تحتاج الفضلات السائلة إلى عملية ترسيب أخرى ليخرج منها وحل البكتيريا. ويسمى هذا النوع الثاني من الوحل: الوحل المنشط activated sludge، ويجمع بعضه ويعاد إلى برك التهوية حتى يزيد من سرعة التكوين الأصلي لثاني أكسيد الكربون، فالعملية كلها نوع من الزراعة المستمرة الهوائية ومنها تعاد بعض الميكروبات الناتجة إلى وعاء الزراعة الأصلي (الذي تمثله برك التهوية). أما بقية الوحل المنشط فهو إما أن يضاف إلى الوحل المترسب وأما يعبا ويباع كسماد. وتسمى هذه العملية كلها «عملية الوحل المنشط» وتصبح المياه بعد مثل هذه المعالجة نقية إلى حد كبير ويمكن تصريفها غالبا في النهر. أما إذا لـه ا تصرف، فإنها ترش على طبقة من مادة مسامية مثل فحم الكوك، ويتم ا ذلك غالبا برشاشات دوارة كالتي يراها الإنسان في أراضي مصنع المجاري، ويسمح للسائل بالتسرب خلال طبقة من الكوك سمكها أقدام عديدة. وهنا تنمو على الكوك طبقات من البكتيريا والعفن والاستربتومايسيتات فتزيل الآثار الأخيرة للمواد العضوية، وتنتج سوائل توشك أن تكون ماء عذبا. وتتم إزالة الجسيمات العالقة بالترشيح خلال الرمال أحيانا ولكن نقاوة المياه تبلغ حدا يسمح بصرفها مباشرة في النهر أو البحر.

أما الوحل المترسب فهو يمثل مشكلة أعوص. فعلى الرغم من ترسبه تكون نسبة الماء فيه اكثر من 90 في المائة، وعلى ذلك يمكن ضخه في براميل ضخمة تسمى الهاضمات digesters. وتلك مزارع مستمرة من نوع آخر، فليس فيها تهوية بحيث تنمو فيها البكتيريا اللاهوائية أساسا. وتنتج البكتيريا المختزلة للكبريتات كبريتيد الأيدروجين من الكبريتات الذائبة في الماء كما تحلل بكتيريا السيليولوز الورق وما شابه من المواد، ولكن الميكروبات الرئيسة التي تنمو هي بكتيريا الميثان. وهذه-تساعدها بكتيريا لا هوائية أخرى-تكسر المواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون، والميثان بصفة رئيسة،

وكلاهما غاز. وهذا الميثان هو نفس غاز المستنقعات أو الغاز الطبيعي ؛ فهو مصدر قيم للطاقة. وإذا كانت بعض مصانع المجاري القديمة ما زالت تحرقه، فإن معظم المصانع الحديثة تستخدمه في تشغيل مكناتها. وتحتاج هاضمات الوحل إلى تحريكها ببطء، ويستخدم الميثان في تشغيل المحركات ومضخات الهواء. وفي الإمكان كذلك ضغطه في اسطوانات واستخدامه في تسيير الشاحنات كما أنه يباع أحيانا. وعلى ذلك يكون تخمر الوحل المترسب لإنتاج الميثان مصدرا نافعا للطاقة في مصانع المجاري الحديثة.

قد تبلغ سعة الواحدة من الهاضمات مليون جالون من الوحل. وفي كل يوم تضاف نسبة تتراوح بين 5 و10 في المائة من الوحل المعالج بحيث تكون الهاضمة مزرعة لا هوائية مستمرة تستبدل محتوياتها كل فترة تتفاوت بين عشرة أيام إلى عشرين يوما. ويمكن أن يبلغ التخمر درجة من النشاط تستلزم تبريد حاويات التخمر. ويبقى الوحل المهضوم مكونا من الماء إلى حد كبير، ويستبقى فترة في خزانات حتى ترسب البكتيريا والمواد الصلبة المقاومة (وهي تلك التي تهاجمها الميكروبات ببطء أو لا تهاجمها على الإطلاق) وليست هذه العملية-وتسمى إزالة الماء dewatering،-ذات كفاءة P لأن إنتاج بعض الميثان المتخلف يستمر فيعوق عملية ترسيب المواد الصلبة إلى حد ما. ويمكن في هذه المرحلة إضافة عوامل مرسبة تعوق إنتاج الميثان. ثم تجري المياه بعد الترسب إلى مصنع الوحل المنشط، وتحد سبيلها في النهاية إلى النهر أو البحر. أما الوحل المهضوم المرسب فيجب حمله في عربات والتخلص منه بطريقة ما. وليس منه ضرر تقريبا. ويمكن نشره على التربة كنوع من المحسنات، وفيه بعض الفائدة كسماد، وان كان أغلب العناصر النافعة الذائبة قد تم استخلاصها منه (النتروجين والكبريت والفسفور)، ويجب من أجل هذا الغرض تجفيفه. وبرغم أن الميثان ميسور للتسخين به فنادرا ما تكون هذه العملية اقتصادية. ويغلب في بريطانيا أن يحمل الوحل المهضوم في صنادل إلى البحر حيث يلقى فيه. ويفرض القانون أن يحمل نحو عشرين ميلا بعيدا من الشاطئ وبذلك يكون إسهامه تافها في تلوث المناطق الساحلية.

وقد يَستخدم مصنع المجاري الصغير بعض هذه العمليات فقط، ولكن أغلب المصانع الحديثة تستخدمها جميعا. ويجب أن أسجل-مع كل-في

امتعاض أن 119 سلطة محلية حول السواحل البريطانية كانت ما تزال تصرف فضلات المجاري-غير المعالجة-في البحر عام 1966.

وتأتي المتاعب حين تحتوى فضلات المجاري الواردة للمعالجة على مواد تفوق طاقة المصنع، أو تسم الميكروبات فالنفايات السائلة من المذابح ومصانع الألبان هي أمثلة على النفايات السائلة الغنية بالمواد العضوية إلى حد يستلزم تخفيفها بكميات عظيمة من الماء قبل أن تستطيع مصانع المجاري العادية تناولها. وكثيرا ما يفرض القانون على الصناعات التي تتناول مثل هذه المواد أن تنشئ مصانع خاصة بها لمعالجة مجاريها، وتسمى العملية: «المعالجة البيولوجية للفضلات السائلة». وللصناعات الكيماوية وصناعة الغاز مشكلات مشابهة لأن فضلاتها السائلة سامة لميكروبات المجاري العادية. ولكن هناك-كما رأينا في الفصل الثاني-بكتيريا تستطيع أن تحلل أنواعا عديدة من الكيماويات الغريبة، ومن الممكن إنشاء مصانع للمعالجة البيولوجية تستخدم هذه البكتيريا. وتنتج مصانع مونسانتو للكيماويات Monsanto في روابون من مقاطعة فلنتشاير Ruabon Flintshire فضلات سائلة تحتوي على مركبات الفينول المختلفة يعمل أغلبها كمطهرات ضد الميكروبات العادية. وعندما أقرت سلطات المصانع زراعة الميكروبات المؤكسدة للفينول في مصانع الوحل المنشط وفي أنظمة الترشيح بالتسريب trickling filter systems تمكنت من تنقية فضلاتها السائلة إلى حد أمكن معه تصريفها في نهر دي Dee دون أية معالجة إضافية. كما تنتج صناعة الغاز فضلات سائلة تحتوي على أنواع الفينول والسيانيد والمواد السامة الأخرى، وقد تم تصميم المصانع لمعالجة هذه المواد بيولوجيا. كما تنتج صناعة الورق أيضا فضلات سائلة غنية بالمواد العضوية، ومستخلصة من الخشب وتحتوي على الكبريتيات Sulfites التي تستخدم في تحضير اللب. وهذه النفايات السائلة ضارة جدا. وإذا كانت الكبريتيات سامة لكثير من الميكروبات فإن البكتيريا المختزلة للكبريتات تستقبلها بترحاب (فهي مناسبة لأيضها كالكبريتيتات تماما). ويمكن أن تسبب الكبريتيتات-على الفور-أسوأ أنواع التلوث في حالة التعامل معها بإهمال ولا بد من إعادة تخفيف الكبريتيتات إلى حد هائل قبل أن تستقبلها مصانع المجاري العادية أو ينبغي تهيئة أنواع خاصة من الميكروبات لتتولى أمرها في مصنع خاص. وقد أنشئت وسائل لاستخدام

البكتيريا المختزلة للكبريتيتات في إزالة الكبريتيتات بوساطة نوع خاص من مرشحات التسريب، ولكنها فيما أعلم لم تستخدم في الصناعة حتى اليوم[3].

ومن الفضلات السائلة الأخرى التي تسبب إزعاجا كبيرا للناس-وإن كانت لا توجد في المجاري-«نفط البحر» «Sea oil»، تلك المادة الزيتية القطرانية التي تتجمع على الشواطئ نتيجة تصريف السفن للنفط في البحر. وعلى الرغم من التعليمات الدولية فمازال تلوث البحر بالمصادفة، أو المصادفة الجزئية يحدث بانتظام. ويتأكسد النفط عادة بوساطة البكتيريا البحرية من النوع الذي صادفناه في الفصل السابع والذي يلوث مياه القاع في مستودعات البترول. ومن سوء الحظ أن المكونات اللزجة القطرانية في النفط الخام لا تتأكسد إلا ببطء. والمادة القطرانية التي تلوث ملابس الإنسان وأطفاله اليوم على أغلب الشواطئ الأوروبية هي من مخلفات مثل هذا الزيت الذي ما زال قيد عملية التحلل الميكروبيولوجي.

ويحدث الإزعاج لأن كمية النفط المنصرفة في البحر اكبر من طاقة الميكروبات الطبيعية في التخلص منها قبل أن يلقى بها إلى الشواطئ. وقد حدثت كارثة هائلة من هذا النوع في ربيع عام 1967، عندما تحطمت ناقلة نفط ضخمة تسمى توري كانيون Torrey Canyon على شاطئ إنجلترا الجنوبي الغربي، وانطلقت آلاف الأطنان من النفط لتلوث شواطئ إنجلترا وفرنسا. ومن أسف أن المنظفات استخدمت كعلاج طارئ، لتنظيف الشواطئ، ولم يكن هذا من الحكمة في شيء، من ناحية النظرة الآجلة، لأن أغلب المنظفات مطهرات، ومن ثم فهي تؤخر عمل الميكروبات. وإذ يسبب مثل هذا التلوث إزعاجا للناس فإنه كذلك يقتل آلافا من طيور البحر، ويؤذي اسماك المحار وصناعة القشريات أذى هائلا. ولا بد من استنباط وسيلة ميكروبيولوجية لمكافحة التلوث من هذا النوع على نطاق ضيق. ولكن كارثة ناقلة النفط توري كانيون تسرعي بالطبع وسائل طارئة لعلاج الأزمة، ودور الميكروبات فيها سيكون بالغ البطء.

وليس النفط هو المتلوث الوحيد للبيئة الطبيعية الذي يمكن علاجه بالميكروبات. فقد ذكرت في الفصل الثاني حقلا في بلدة سماردن من مقاطعة كنت، Smarden in Kent أصبح ملوثا بمادة الفلورا سيتاميد fluoracetamide، وهي سم قوي يستخدم كمبيد حشري. وقد اتخذت إجراءات

عاجلة للتخلص من التربة الملوثة وإزالتها، ثم ظهر جليا فيما بعد أن هناك بكتيريا قادرة على أن تحلل الفلوراسيتاميد إلى نواتج لا ضرر منها. ومن المحتمل أن علاج التربة بوساطة الميكروبات التي اكتفت بحيث تحلل الفلوراسيتاميد كان من الممكن أن يوفر علاجا فعالا سريعا. وتختفي المبيدات الانتقائية للحشائش selective herbicides والمبيدات الحشرية ونحوها من المواد من التربة نتيجة أنشطة الميكروبات. وهناك إمكانات مشجعة بخصوص إستخدام الميكروبات لإزالة المواد السامة غير المرغوبة من البيئة الطبيعية، ولكن هذه الإمكانات مازالتا بغير استغلال كبير في الوقت الراهن.

إن المواد التي لا تهاجمها الميكروبات قط مشكلة هامة في معالجة المجاري. فالنفايات الناتجة من صناعات الطلاء بالكروم مثلا تحتوي على أيون الكرومات chromate ionالذي يمكن أن يبعث الاضطراب في جماعات الميكروبات في مصنع المجاري ويفسد عملية المعالجة بأسرها. ولما كانت الصناعات المنتجة لمثل هذه الفضلات السائلة معروفة بصفة عامة صار في الإمكان عادة تنظيم فضلاتها المنصرفة إلى المجاري على نحو من الكفاءة يسمح بتفادي هذه المتاعب. أما الذي يزيد المتاعب فهو استخدام مثل هذه المواد المقاومة للتحلل الميكروبي في المنازل. أن بعض المنظفات المستخدمة الآن تعوق معالجة المجاري. ويمكن أن يحدث هذا بطريقتين: الأولى حينما تستطيع الميكروبات تغيير التركيب الكيماوي للمنظفات، ولكنها تنتج قدرا كبيرا من الزبد في الوحل المنشط مما يعوق نفاذ الهواء إلى فضلات المجاري، وتبطئ عملية التخمر كلها. وأذكر أن مديرا لأحد مصانع المجاري المحلية أخبرني في أوائل الخمسينات بأنه يستطيع معرفة أوان تنزيلات أسعار المنظفات في منطقته حين يختفي الوحل المنشط تحت كومة الزبد (والرغوة) في مصنعه. وكان من الضروري حينئذ أن تستخدم العوامل المضادة للرغوة الباهظة التكاليف. وليس مثل هذا العلاج ناجحا دائما، إذ تستطيع رغوة المنظفات أن تشق طريقها خلال مصنع المجاري وتلوث الأنهار. وقد شاهدت أنهارا ترغى بالزبد في لندن وفي ميدلاند Midlandوما زالت المشكلة هذه قائمة عندنا.

وتحدث مشكلة اكثر عذرا تسبب المنظفات غير ذات الرغوة، كالتي تستخدم في صناعة الأغذية ومكنات غسيل الصحون (عدة المائدة) في

المنازل. وبعض هذه المنظفات من المواد المقاومة، ولا نعرف ميكروبات تهاجمها بسرعة. والنتيجة أن هذه المنظفات تمر خلال معالجة المجاري دون أن تتأثر. وقد تصل إلى مصادر مياه الشرب عندنا وأنا اكتب: «قد تصل إلى.. ..» إذ أصبح معروفا منذ 1960 أن آثارا ضئيلة من هذه المواد وصل إلى كثير من مستودعات مياه الشرب، وإذا كانت لم تسبب أذى فمن الواضح أن كمياتها سوف تزيد ويجوز أن تصبح عندئذ ضارة. وإذا كنا قد أحرزنا بعض النجاح في الحصول على سلالة من الميكروبات التي تهاجمها فقد اتجه الحل نحو تغيير الصفة الكيماوية للمنظفات بحيث تصبح معرضة لغزو الميكروبات أي «قابلة للتحلل ميكربيولوجيا» كما يسميها الأمريكيون. وقد اقترح البعض هنا وفي الولايات المتحدة تشريعا يختص بتسويق المنظفات غير القابلة للتحلل، ولكني أعتقد أن صناعات المنظفات تلغى الآن باختيارها صناعة المنظفات «العسرة».

وتتم المعالجة الحديثة لفضلات المجاري بصورة أوتوماتية إلى حد كبير فسريان الفضلات والترسب وتعبئة الهاضمات ونحو ذلك يتم توجيهها من منطقة تحكم مركزيه بأساليب الأزرار التي يحق لمهندسي المجاري أن يزهوا بها. وقد أسهمت جزئيا مع هذه الدرجة العالية من الأوتوماتية العملية الكريهة الخاصة بتداول فضلات المجاري بالأيدي، ولكن يضاف إلى ذلك عامل هام ألا وهو قدرة مصانع المجاري على الاكتفاء الذاتي فيما يتعلق بالطاقة. فإن الميثان الناتج من هضم الوحل لا هوائيا يكفي ويزيد عادة في تزويد المضخات والمكنات المستخدمة في عمليات المجاري بالطاقة، كما استطاع العديد من مصانع المجاري بيع الميثان الفائض إلى شبكة الغاز الوطنية. وقد تم تصميم مصانع المجاري الصغيرة لإنتاج الميثان من نفايات المنازل والمزارع وتزويد الثلاجات والمكنات المنزلية بالطاقة في البلاد الحارة مثل الهند.

إن الطبيعة الإنتاجية لمعالجة النفايات قد حدت بالعلماء أن يبحثوا في المنتجات النافعة الأخرى غير الميثان التي يمكن الحصول عليها من فضلات المجاري. وقد برز عدد من المشروعات الهامة. فالكبريت-كما رأينا في الفصل السادس-عنصر آخذ في التناقص ؛ في صورته المختزلة على الأقل. وإذا استطاع الإنسان أن يهضم الوحل بنوع من البكتيريا ينتج الكبريت من

الكبريتات مثلا لأمكنه إنتاج ما هو أعظم قيمة بطبيعته من الميثان. وليس هناك ميكروب معروف ينتج الكبريت مباشرة من الكبريتات، ولكن البكتيريا المختزلة للكبريتات تنتج الكبريتيدات من الكبريتات، ويمكن تحويل تلك بسهولة-مثل كبريتيد الأيدروجين-إلى الكبريت أو حمض الكبريتيك بوساطة العمليات الصناعية المعروفة. وقد قام ك. ر. بوتلين .K.R.Bultin وزملاؤه بابتكار طريقة لصناعة الكبريت على هذا النحو من وحل المجاري خلال الخمسينات: إذ كان وحل المجاري يخمر مخمرا شبه مستمر مخلوطا بالجص (كبريتات الكالسيوم) الذي تحوله البكتيريا إلى كبريتيد الكالسيوم. وقد استخدم غاز المجاري (الميثان وثاني أكسيد الكربون) في تخليص الكبريتيد بتحويل كبريتيد الكالسيوم إلى الكربونات وإطلاق الكبريتيد على هيئة كبريتيد الأيدروجين يد 2 كب. وتتم تنقية فضلات المجاري بإطلاق كبريتيد الأيدروجين بينا يتحول الجص إلى كربونات الكالسيوم. وقد حسب بوتلين أن مصنع شمال لندن لمعالجة المجاري North London Sewage worksالذي كان يعالج نحو مليون جالون من الوحل يوميا أمكن تعديله لإنتاج خمسة آلاف طن من الكبريت في اليوم، ولكنه عندئذ لم يكن ينتج الميثان. وينبغي من الناحية العملية أن يصل إلى توازن بين تخمر الكبريتيد والميثان ليس فقط من أجل استعمال الميثان في حمل كبريتيد الأيدروجين بعيدا، وإنما أيضا من أجل الحاجة إلى ثاني أكسيد الكربون المصاحب له في إزاحة كبريتيد الأيدروجين. وقد تم تطوير العملية بنجاح حتى مرحلة المشروع الإنتاجي، وأثبت أن له مزية إضافية من وجهة نظر مهندسي المجاري، إذ ترسب الوحل الكبريتيدي المهضوم بكفاءة اكبر من ترسب الوحل الميثاني المهضوم تقليديا، ولذلك كان التخلص من الناتج المهضوم عملية أقل تكلفة بكثير، إذ قلت الحاجة إلى الماء اللازم لحمله معه.

وفي ملابسات سببت بعض التشهير في أواخر الخمسينات أوقف قسم البحث العلمي والصناعي-وهو القسم الحكومي المعني-البحث البريطاني على إنتاج الكبريت. وكان من المحتمل أن يسهم هذا البحث في زيادة مصادر بريطانيا من الكبريت إسهاما ملموسا بالرغم من أنه لم يكن ليستطيع أبدا إنتاج ما يكفي ليحل محل الكبريت المستورد كله. وقد أخذت الصحافة المتخصصة تذكر العملية من جديد إبان إعداد هذا الكتاب حينما بدأ نقص

عالمي آخر في الكبريت. وقد أجرت الهند والولايات المتحدة وتشيكوسلوفاكيا عمليات مشابهة. وقد استخدمت تشيكوسلوفاكيا التخمر الكبريتي بنجاح في المعالجة الأولية للنفايات القوية ؛ وهي النفايات الناجمة عن صناعات الخميرة وحمض الليمونيك، إذ أنها أقوى من أن تعالج خلال عمليات المجاري التقليدية. وتؤدى عملية أولية لتخمر الكبريتات إلى تحلل النفايات بحيث يتقبلها المصنع العادي للمجاري، وينتج الكبريت علاوة على ذلك. ولقد ذكرنا من قبل الطبيعة الضارة للنفايات الناجمة عن صناعة الورق التي تحتوي على الكبريتيت والمواد العضوية. ونستطيع استخدام البكتيريا المختزلة للكبريتات في المعالجة الأولية لهذه النفايات أيضا، ولكن محصول الكبريت هنا جد ضئيل-فيما يقول الباحثون الروس-بحيث لا يستأهل جمعة من الناحية الاقتصادية. كما استعمل الباحثون الأمريكيون نفايات الورق في زراعة الخميرة التي استخدموها بعدئذ كعلف للحيوان. وهناك مشروع لزراعة المشروم [(4)] mushroom في نفايات الورق والخشب بهدف إنتاج حساء المشروم المعلب. وأعتقد أن المذاق لم يرق إلى المستوى المناسب. ووحل المجاري نفسه مصدر نافع لفيتامين ب 12، وان كنت لا أعلم إن كان هناك استغلال تجاري في الوقت الراهن لهذا المصدر. كما يحتوي الوحل أيضا على عدد من العناصر النادرة مثل الزركونيوم Zirconium والجرمانيوم germabium والجاليوم gallium والسيلينيوم selenium. وهي تنشا على الأغلب من النفايات الصناعية. ولم تجاوز مشروعات استخلاصها مرحلة التخطيط فيما أعلم.

إن من أعسر النفايات التي ظهرت منذ الخمسينات أو نحوها تلك الناتجة من الصناعات والمختبرات التي تستخدم المواد المشعة «radio active». وإسهام الميكروبات قليل في التخلص من مثل هذه النفايات. وللميكروبات في الحقيقة خاصية غير مناسبة في هذا المضمار، ألا وهي تركيز المواد المشعة. فالبكتيريا والطحالب والعفن وكذلك النباتات قد تقوم بتركيز النظائر المشعة. ولا يبدو هناك سبب أو مقياس محدد لاحتمال ما إذا كان نوع ما من الميكروبات سوف يركز مادة معينة أم لا. وينبغي من أجل هذه الأسباب فصل هذه النفايات بعناية، ولا تقبلها في العادة مصانع المجاري العادية. وقد اقترح البعض استخدام الميكروبات والنباتات بقصد استخلاص النظائر

النافعة من قبل تلك النفايات.

والمنتجات الرئيسة التي نحصل عليها من معالجة فضلات المجاري هي الميثان والكبريت (أو بالأحرى كبريتيد الأيدروجين). والناتج الأخر-إضافة إلى الماء-هو الوحل المهضوم. وبالرغم من إمكان استخدامه كسماد ومحسن للتربة فغالبا ما يكون غير مناسب لاحتوائه على قدر كبير من العناصر النادرة التي أشرنا إليها. وهناك إلى جانب المعادن النادرة المذكورة كميات كبيرة من النحاس والزنك وأملاح الرصاص، التي قد تغير النباتات. ومن الجوانب المخيبة للآمال في عمليات المجاري التقليدية أنها تؤدى إلى فقدان المكونات غير العضوية التي تفيد الزراعة. إذ يزول البوتاسيوم والفسفور والكبريتات والنترات من فضلات المجاري خلال المعالجة، وتصبح الأملاح مخففة في الماء النقي، وتتخذ في النهاية سبيلها إلى البحر. ونفقد قدرا من النترات نتيجة تأثير البكتيريا عليها وتحويلها إلى غاز النتروجين أثناء عملية الوحل المنشط وما يتلوها من الترسب. وعلى ذلك تكون الحصيلة فقدان العناصر الزراعية النافعة من اليابسة إلى البحر. وتعتبر إعادة هذه العناصر مرة أخرى إلى اليابسة من المشكلات التي تواجه المجتمعات المتحضرة على المدى الطويل. ولم يحدث. هذا الاستنزاف للخصوبة الداخلية عندما كانت فضلات المجاري في الماضي تنثر على الأرض وتنمي مزارع المجاري. وينبغي تعويض النقص اليوم بالمخصبات الكيماوية ومن خلال العناية بالأرض عناية خاصة.

تتناول معالجة فضلات المجاري نفايات سائلة ؛ فيمكن ضخها في مصنع المجاري والتعامل معها باعتبارها حجما من. ، السوائل، على الرغم مما تحتويه من المواد الصلبة. ولكن قدرا مهن نفايات المدن والمزارع والمنازل صلب أو نصف صلب. وعلى الرغم من إمكان حرق اكثر هذه النفايات فإن كثيرا منها لا يمكن حرقه. ويستخدم كثير من السلطات المحلية-للتخلص منها-عمليات تشابه أساسا عمليات التخمر في الحدائق. أن نفايات المدن تحتوي على قدر كبير من بقايا نباتية ناتجة لنفايات من صناعتي الورق والطعام. وكثير من مصانع النفايات في البلديات تلجا إلى تكويم النفايات في أكوام ضخمة للتخمر، حيث تبدأ عمليات التحلل الميكروبي، وذلك بعد إزالة العناصر النافعة مثل الصلب إذ يمكن استخلاص العلب وبيعها).

وترتفع الحرارة في داخل الأكوام بحيث تنمو البكتيريا المحبة للحرارة وتؤدى إلى تحلل سريع جدا للمواد العضوية. وينبغي مكافحة الحشرات والقوارض على سطح مثل هذه الأكوام من النفايات، وتتكون تربة خصبة في زمن وجيز يدعو إلى الدهشة.

يمكن حرق بعض المكونات في نفايات المدن، كما رأينا، ولكن هذا الأمر ليس مستحبا دائما. فنحن نستخدم اليوم ونستغني عن كثير من مواد البلاستيك من نوع الكربونات الهيدروكربونات الكلورينية chlorinated hydrocarbon (مثل كلوريد البوليفينيل Polyvinyl chloride) ولو أننا حرقنا هذه المواد لنتج حمض الهيدرو كلوريك hydrochloric وأتلف الأفران والمداخن كما أنه يولد أبخرة ضارة. وهناك بكتيريا يمكن أن تحلل هذه المواد. وقد ابتكر مختبر الفيزياء القومي عمليات تخمر للتخلص منها. ويبدو أن ذلك أنفع من حرقها.

ولقد كان هناك حل-جدير بالاهتمام-لمشكلة التخلص من نفايات المدن وذلك باستخدامها في ميدان استصلاح الأراضي البور. فهناك منطقة حول ميدل سكس الغربية West Middlesex على حدود لندن مليئة بحفر قديمة كانت مصدرا للزلط وتمثل بركا عظيمة صنعها الإنسان، ولا فائدة منها اليوم. فقد نضب معظم الزلط الصالح للاستغلال أما الحفر فقد أصبحت مشبعة بالماء. وحين تعاظم الطلب على أراضي البناء بذلت الجهود لاستصلاحها. من خلال ملئها بنفايات المدن. ومع ذلك فان إلقاء النفايات غير المعالجة في حفرة مشبعة بالماء يسبب كارثة: إذ يحدث أروع التلوث في غضون أسابيع، وتتسبب الروائح وتلف الأصباغ والمصنوعات المعدنية في إغراق السلطات المحلية بالشكاوي وطلبات التدخل واتخاذ الإجراءات القانونية. وقد ابتكر الأستاذ أ. س. نولز A.S.Knolles مهندس قصبة تويكنهام Borough of Twickenham طريقة رائعة لاحتواء مثل هذا التلوث واستصلاح الأرض مع ذلك. فقد استخدم الخبث الناتج من نفايات المدن بعد تعرضها للأفران في تقسيم الحفرة إلى أحواض بملأ كلا منها بالنفايات غير المعالجة بسرعة قبل أن يتوطد التلوث. واستطاع أن يملأ الأحواض كلها ويجعلها صالحة للبناء دونما إزعاج شريطة أن يتم بناء جدران الأحواض قبل إلقاء النفايات غير المعالجة. ويحتوي الخبث على الكبريتات كما تحتوي النفايات

على المواد العضوية، وعلى ذلك كانت عناصر التلوث على نطاق واسع من خلال الاختزال البكتيري للكبريتات متوفرة مما يرتب على ذلك من خطر يرقى إلى أشد ألوان الإزعاج ضررا. لكن صار في الإمكان ملء الحفر واستعادة الأراضي دونما شئ سوى منفعة كل من يعنيهم الموضوع شريطة أن الأمر يتم بسرعة مع فهم العمليات المتعلقة به.

إن الميكروبات من ناحية التخلص إذن أساسية في التنظيم الاجتماعي للمجتمعات المتحضرة. ولولا أنشطتها-كما أشرنا في بداية هذا الفصل- لغرقنا إلى أذقاننا في الأوحال الرهيبة من نفايات النشاط الإنساني. والصفة التي تجعل الميكروبات في هذا المجال بالغة القيمة هي اختلاف أوجه أنشطتها الكيماوية بصورة غير عادية وهو ما لاحظناه في الفصل الثاني؛ ويبدو أن هناك ميكروبات تستطيع إحداث التلف والتحلل لأية مادة يمكن للجنس البشري إنتاجها تقريبا. ولا نفهم إلا القليل عن الكيمياء الحيوية لهذه العمليات، ولدينا في الحقيقة معرفة غير واضحة بالميكروبات المتعلقة بها. وإنما ينشا هذا الجهل بسبب تأخر الأبحاث الأساسية وراء التجربة العملية في هذه الميادين من المعرفة كما في عمليات التآكل والانحلال التي ناقشناها في الفصل السابع. إن نتف المعرفة لدينا-فيما يتعلق بأدوار بكتيريا الميثان والبكتريا المختزلة للكبريتات والبكتريا التي تحلل المنظفات ومواد البلاستيك-توضح بجلاء كم يكون البحث العلمي الأساسي المستمر مجزيا في عمليات التخلص الميكروبيولوجية. والمشكلة هي: من يدفع تكاليف البحث؟

لقد لاحظنا في الفصول الثلاثة الأخيرة كيف أن الميكروبات أساسية في اقتصادنا، ولاحظنا-فيما أرجو-كيف أن البحث في الميكروبيولوجيا الاقتصادية متخلف بالقياس إلى البحث في الميكروبيولوجيا الطبية، وكيف أن معارفنا متناثرة حول العمليات الكامنة وراء الآثار الاقتصادية للميكروبات. وينشا هذا الموقف من النظرة المنحرفة إلى تنظيم البحث في الميكروبيولوجيا وتمويله وبخاصة في بريطانيا. فدعونا نخرج عن موضوعنا الأساس فترة وجيزة وننظر في هذه الأمور. سيكون المشهد كئيبا ولكنه لن يستمر طويلا.

9 الوقفة الثانية: كيف نتعامل مع الميكروبيولوجيين

ألمحت في الفصول القليلة الأخيرة إلى ميادين في الأبحاث الميكروبيولوجية تتسم بالإهمال وسؤ الإدارة. ومن الخطأ في كتاب يتعلق بالميكروبات والإنسان أن نتجاهل الذين يدرسون الميكروبات تجاهلا تاما. ومع ذلك فان مجرد ذكر الأسماء العظيمة أو الرواد في الميدان، وأولئك الذين حققوا أنجح الاكتشافات سيؤدي إلى انطباع كاذب عن طبيعة الميكروبيولوجيا اليوم. ذلك بان البحث-كما بينت في الفصل الرابع-إنما هو إلى حد كبير مسالة وئيدة. فقد انقضى منذ عهد بعيد زمن العالم الذي يخلو بنفسه في مختبره السيئ التجهيز في الدور الأرضي ويقدم إنجازات رائعة بأدوات بسيطة. والعلماء اليوم يحتاجون إلى أجهزة ومعدات بالغة التخصص كما يحتاجون إلى السفر وتبادل الحديث مع زملائهم، وهم في حاجة إلى مساعدين فنيين مدربين على درجة عالية من الخبرة، وكذلك يحتاجون إلى خدمات مكتبية شاملة ذات كفاءة بالغة. وإذا لم يحصلوا على كل هذه الأمور، فانهم يعملون بلا همة، وربما كانوا سوف يهاجرون منذ

عقد مضى من السنين إلى الولايات المتحدة الأمريكية، ولكن مكانة العلماء تتدهور هناك أيضا.

لقد عانت الميكروبيولوجيا مثل أي علم آخر من الموقف المشرب بالتعقيد الذي يسئ إلى العلم في بريطانيا اليوم ؛ أعني بذلك تناقص الميزانية المخصصة للأبحاث، وضيق آفاق المستقبل المهني أمام العلماء الشبان، والاهتمام قصير النظر بالبحث التطبيقي (والاتجاه الآن نحو تسميته بالبحث وثيق الصلة بالمطلوب). ومن المعقول أن أذكر شيئا عما ينبغي في تصوري أن يكون ؛ في إنني أشرت إلى ميادين الإهمال وإلى التقدم الذي يتحقق-لا بسبب الإدارة العلمية-وإنما على الرغم منها. والنقد الهدام سهل على كل حال، ولكن النقد البناء يشير إلى الاهتمام بالموقف على الأقل. وعلى ذلك قررت أن أتناول هذه الأمور في فصل مستقل ؛ يستطيع من لا يعنيه الأمر من القراء أن يتخطاه إن أراد. كما قررت أن أجعل الفصل قصيرا فليس أشق على النفس من المراوغة في سبيل إيجاد ما يؤيد وجهة النظر وكل ذلك تحت اسم «سبب» علميا كان أم غير ذلك. وأشهد أخيرا أن حالة الميكروبيولوجيا في بريطانيا قد لا تختلف عن حالة الفروع الأخرى في البيولوجيا أو الكيمياء الحيوية أو الكيمياء البحتة أو الفيزياء أو الرياضيات. وإنما اتفق أنني أعرف بنفسي الموقف في الميكروبيولوجيا بدقة كبيرة.

والأمر في الحقيقة بسيط تماما. إن لبريطانيا سجلا مذكورا على مستوى الأبحاث الأساسية ؛ وهي الأبحاث المتعلقة بالعلم للعلم. وقد كانت إسهامات البكتيريولوجيين والميكروبيولوجيين عندنا في حل المشكلات الأساسية على قدم المساواة مع إسهامات العلماء الأمريكيين والفرنسيين والهولنديين (الذين قادوا العالم-لان كان في هذا القول شيء من الظلم للجنسيات الأخرى نعترف به) وبخاصة في الثلاثينات والأربعينات من هذا القرن. ولم يعد الموقف الآن كذلك. فلو نظرنا إلى الأبحاث العالمية في الميكروبيولوجيا على أنها نوع من السباق، لظهر جليا أن بريطانيا وفرنسا قد تقهقرتا منذ الحرب، وأن بلادا مثل السويد واليابان واستراليا وكندا قد قفزت إلى القسم الأول وأن الولايات المتحدة الأمريكية قد سبقت إلى المقدمة.

ومن المهم أن نقدر هذا الأمر حق قدره. ومن الصحيح الذي يدعو إلى

الإعجاب أن تسبق الولايات المتحدة الأمريكية إلى المقدمة وأن تشاركها في المنافسة دول أخرى في هذا الميدان. إن الزهو القومي في الأبحاث الأساسية تافه للغاية. ويجب على دولة كالولايات المتحدة الأمريكية فيها السكان أغنياء على درجة عالية من التعليم أن تخرج عددا أكبر من علماء الطبقة العليا والميكروبيولوجيين وغيرهم يفوق ما تقدمه أية دولة أخرى في العالم. لا فإن لم تفعل الولايات المتحدة ذلك فليس في الأمر مفخرة للبريطانيين ولا لغيرهم. وإنما سوف ينعكس الأمر على حالة العلم في الولايات المتحدة ببساطة. وإضافة إلى ذلك فالمعارف العلمية في مجال البحوث الأساسية متاحة على مستوى العالم. وعلى ذلك لا نستطيع الزعم بان المعرفة التي توفرها هذه الأبحاث محجوبة عنا. والذي يجب أن نهتم به هو أن بريطانيا قد تقهقرت.

وقد ظلت بريطانيا مقصرة في الإفادة من المعارف العلمية الأساسية. أما حالة البنسلين التي ذكرناها بإيجاز في الفصل الثالث-فهي كلاسيكية من نوعها لأننا انتهينا مجبرين على دفع الرسوم للولايات المتحدة لنحصل على ترخيص بإنتاج مادة سبق اكتشافها في بريطانيا. وعلى العموم لقد كانت جوانب فشلنا من نوع أقل حدة ولكن لها أنماط متشابهة: فنحن لم نفلح قط في تتبع التشعبات العملية للاكتشافات الأساسية. وحتى في مجال الأبحاث الأساسية فنحن نميل إلى تسجيل بعض الملاحظات الأصيلة المبدئية ونجد عندئذ أن الموضوع قد تتبعته فرق البحث الجيدة التجهيز بالباحثين والمعدات في الولايات المتحدة فلماذا ؟

لقد شغل هذا السؤال السياسيين ورجال الحكومة والعلماء ولجانا مختلفة سنين عديدة، وظلت الإجابة غير شافية. ومع ذلك فالإجابة واضحة في الحالة الخاصة للميكروبيولوجيا: أن تنظيم الأبحاث الميكروبيولوجية سيئ. وقبل شرح السبب دعوني أشير إلى أن الميكروبيولوجيا علم «رخيص»؛ فالأجهزة والمعدات التي يحتاج إليها الميكروبيولوجيون أرخص بكثير من تلك التي يحتاج إليها علماء الفضاء والفيزياء النووية ونحوهم. أن تكاليف طائرة تجريبية واحدة مثلا يمكن أن تمول مختبرا للميكروبيولوجيا يعمل فيه مائتان من الباحثين عشر سنوات. وعلى ذلك فليست التكاليف في حد ذاتها معوقة للأبحاث. إن المعوق في الحقيقة حالة من الاتجاه العقلي.

والمختبر الوحيد المناسب حسن التنظيم والمتفرغ للبحث الميكربيولوجي وحده في بريطانيا اليوم مخصص للحرب البيولوجية. ولو تراجع الإنسان إلى الوراء ونظر إلى الموقف نظرة محايدة لوجد أن هذه حالة سخيفة. وفي غير هذا المختبر ينهض بالميكروبيولوجيا مجموعات ضئيلة من الباحثين في مختبرات الأبحاث التكنية والمختبرات الصناعية وأقسام الجامعات. ولا يقدر أحد في هذه الأماكن على الإسهام في تقدم المعارف الرئيسة في الميكروبيولوجيا على النطاق المطلوب في هذه الأيام من التقدم العلمي السريع، حتى لو استطاع أن يحقق تقدما ملحوظا في مناطق البحث المحدودة فترة وجيزة. ودعوني أبحث السبب.

إن مؤسسات الأبحاث التكنولوجية هي مختبرات تشرف عليها الحكومة، وقد تأسست لبحث مشكلات معينة من أمثلتها تلوث المياه وعلم الأغذية ونحو ذلك. ويمكن أن تنجز المؤسسات هذا العمل على أحسن وجه، ولكنها تؤديه بتطبيق المعارف الراهنة على المشكلات العملية. وقد تقول إن هذا بالضبط بعينه ما نريده، ولكن هذا لا يكفي ؛ إننا نحتاج إلى اكتساب معرفة جديدة. وإذا كانت هذه المنظمات تتناول المعارف الراهنة فهي نادرا ما تقدر على ابتكار معرفة جديدة على جبهة عريضة. وإذا هي أدت إلى تقدم المعرفة فغالبا ما تفعل ذلك في حدود اهتماماتها التكنولوجية. فلو أن باحثا في تلوث المياه-على سبيل الافتراض-صادف معرفة بالغة الأهمية تختص بنقل الطاقة في عملية التنفس، فالأرجح تماما ألا يلحظها، وإذا هو فعل فنادرا ما يعمل شيئا اكثر من نشرها، ثم الأمل في أن يلتقطها إنسان يهتم بنقل الطاقة. أن العالم-في سبيل التقدم في ميدان تكنولوجي-يحصر آفاق نظرته باختياره ويندر أن يظل على اتصال بمدى التقدم الأكاديمي في موضوعه. ولهذا السبب ففرق البحث التكنولوجي تميل إلى قصر النفس في إنتاجها. فهم يعملون عملا قيما عقدا أو عقدين من السنين ثم يتجمدون بعدئذ بغير استثناء تقريبا.

ولست في حاجة إلى ذكر شيء إلا القليل عن الأبحاث في المختبرات الصناعية فإذا كان ميدان البحث يبشر بالربح واضحا فانه يجرى على كمل وجه، ويتم بكفاءة وسرعة. وإن كان فيه بعض الأمل في الربح فسيكون هناك بعض من احتمالات الدعم. ولكن حالما يهبط السوق-كما كان يتكرر

في بريطانيا كل بضع سنين خلال العقدين الأخيرين-تحتم إجراء مراجعة اقتصادية، وكانت ميزانية البحث أول ما يتعرض للتخفيض المالي. ومن العدل أن نقول أن كل الصناعات البريطانية الرئيسة تقريبا والتي تستخدم الميكروبات قد استنفدت أغلب أبحاثها التطبيقية في الستينات.

وأقسام الجامعات هي الملاذ الأخير للأبحاث الأساسية في الوقت الراهن. وهي-بالمقاييس البريطانية-تتلقى دعما طيبا معقولا حتى لو جاءت الاعتمادات المالية أعسر مما كان. ومن سؤ الطالع أن الجامعات تتلقى هذا الدعم لأن أسطورة حمقاء قد تفشت زاعمة أن البحث والتدريس لا ينفصلان. والواقع أن المدرسين الممتازين يندر أن يكونوا باحثين ممتازين، وأن الباحثين الممتازين بالمقابل نادرا ما يكونون مدرسين ممتازين. (وهناك في بلادنا كما في البلاد الأخرى استثناءات مرضية لهذا التعميم،-وليس الأمر على الأغلب كذلك) وقد تكون الأبحاث الجامعية رائعة أحيانا، ولكنها بصفة عامة عملية بطيئة تتم بغير كفاءة، وينهض بها العلماء غالبا على سبيل الهواية في وقت الفراغ من التدريس. ولا ينبغي لهذا الأمر أن يكون كذلك لعدة أسباب.. فعندما تبذل المحاولات لزيادة الفرص في التعليم العالي-على الأقل في هذه الأيام-يجب أن يقوم بالتدريس من يتقاضون أجورهم للتدريس. فإذا أرادوا البحث حتى يظلوا على اتصال بموضوعاتهم (ويدربوا طلبتهم)-فمن الأمور الهامة الحيوية أن يتمكنوا من ذلك. ولكن من الحماقة أن نترك مهمة التقدم العلمي اليوم بين أيدي من شغلوا بمهام أخرى. وليس الأمر اقتصاديا أيضا، لأنه يعني عادة أن تظل الآلات المكلفة عاطلة بينا يكافح أصحابها في سبيل محاضراتهم وأساليبهم الأخرى للتعليم. (ودعوني أذكر أنني أدرك أن عرضي لهذا الموضوع فيه تبسيط مبالغ فيه، وذلك حتى لا أزعج الزملاء في الجامعة، وأعلم جيدا أن المعنيين بالبحث العلمي من العاملين في الجامعة كثيرا ما يتخففون من أعبائهم في التدريس فيحيلونها إلى زملاء أكثر اهتماما بالتربية، ثم يأخذون هم في الاشتغال بما يعتبرونه العمل الحقيقي بالنسبة لهم. ليكن.. . ولكن ماذا يقول عنهم زملاؤهم الذين لا يتاح لهم مثل هذا التخفف من أعباء التدريس ؟)

إن الحاجة في هذه البلاد تدعو إلى الاحتراف في مجال البحوث ذات الصبغة الأساسية، مع التفكير في القيمة الاقتصادية لمثل هذه الأبحاث

وليس في الربح الذي توفره أو في استخدامها لتدريب طلاب الدراسات العليا. وأيما قارئ لاحظ كيف تظهر البكتيريا المختزلة للكبريتات كثيرا في أجزاء مختلفة من هذا الكتاب سوف يدرك كم تكون الأبحاث في هذه الكائنات أكفأ لو كانت هذه الأبحاث مركزية لا موزعة بين المختبرات المهتمة بأنواع التكنولوجيا المختلفة التي تظهر فيها الميكروبات. وهناك طريقتان لتنظيم هذا الأمر. إحداهما أن ننشئ معهدا كبيرا للميكروبيولوجيا الاقتصادية تتصدر في برنامجه بكتيريا الكبريت جنبا إلى جنب مع الميكروبات الأخرى ذات الأهمية الاقتصادية. والطريقة الأخرى أن نقيم نحو اثنتي عشرة وحدة متفرغة للبحث موزعة على أنحاء البلاد، والأفضل أن تكون في الجامعات (على أن تستقل بالتمويل) حيث يتفرغ البحث المتعمق في جوانب الميكروبيوولوجيا الاقتصادية تماما في مشروع يشمل أيضا دراسة بكتيريا الكبريت.

لقد شرحت الميكربيولوجيا الاقتصادية في نهاية الفصل الثاني، وأشرت إلى أن هذا الموضوع لا يدرس في أية جامعة. وليست هناك حاجة تدعو إلى تدريسه للحصول على درجة جامعية. والأفضل في الواقع-أن يقبل عليه العلماء بخلفيات أكاديمية جيدة في الميكروبيولوجيا والكيمياء الحيوية والكيمياء. ومن الواضح تماما أن تدريب مثل هؤلاء الناس مبالغ فيه إلى حد كبير في بريطانيا اليوم. ويبدو الأمر كما لو كنا ندرب خبراء في علوم التوجيه بالحاسب الآلي ثم نعرض عليهم عند التعيين أن يختاروا بين العمل مدرسين أو صرافين (ويخبرني أصدقائي من المختصين بالرياضيات أننا نقوم فعلا بمثل هذا الأمر الفظيع. ولكن لندعهم يحاربون معركتهم). إنني أقرر مرة أخرى أن هذه البلاد تحتاج أما إلى معهد كبير للأبحاث المركزية (يشبه المعهد القومي للأبحاث الطبية أو مختبر الفيزياء القومي) أو إلى شبكة من وحدات البحث في جامعات مختلفة حيث يمكن تتبع تشعبات الميكروبيولوجيا الكيماوية-كما تؤثر في المجتمع عامة-بطريقة التفرغ العلمي.

وإذا كنت مع ذلك أستنفد آخر جهد لي فأنا على وعي بوجود وحدة أبحاث واحدة فقط يقتصر نشاطها على جانب من جوانب الميكروبيولوجيا الاقتصادية، وأن المعهد الوحيد المؤهل من بعيد ليملأ هذه الفجوة-وهو معهد صغير تماما-إنما يختص بالحرب البيولوجية. أمة عجيبة أمة

البريطانيين !

ولأرجع بعد ذلك إن موضوعي الرئيسي. ففي الفصول الأولى من هذا الكتاب-كما أشرت في نهاية الفصل الخامس-نظرت إلى الميكروبات من زاوية الإنسان الفرد وإن بدا هذا الفرد شديد الاشتغال بصحته وطعامه. ثم كتبت عن الميكروبات بضعة فصول من زاوية المجتمع وتركيبه الاقتصادي: وسأتناول الآن جدوى الميكروبات للإنسان كنوع بيولوجي ؛ فانظر إلى الدور الذي لعبته في تطوره وتطور الكائنات الحية الأخرى. وسوف أستطيع عندئذ في النهاية أن أقول شيئا عن الميكروبات والإنسان في عصر الفضاء، بل وسوف أذكر بعض التنبؤات-وليست كلها حمقاء-عما يمكن أن يخبئه لنا المستقبل في طياته.

10 الميكروبات في التطور

لقد شغلنا أنفسنا في هذا الكتاب حتى الآن بأهمية الميكروبات بالنسبة للجنس البشري في الوقت الراهن. حتى وان عادت هذه الأهمية إلى أنشطة الميكروبات التي حدثت منذ ملايين السنين قبل ظهور الإنسان على هذا الكوكب كما في حالة تكوين الرواسب الكبريتية. وسنتناول في هذا الفصل مكان الميكروبات في سلسلة تطور الأحياء، كما سوف نحاول تقويم أهمية دورها في توجيه التطور البيولوجي. ويجب أن أذكر القراء بالتحذير الذي أعلنته حول الحقيقة العلمية في وقت بكر في الفصل الرابع ؛ حيث أننا سنتناول مسائل لا يمكن تحقيقها بالتجربة عادة ؛ بأننا سوف نهتم بصفة رئيسة بأحداث وقعت في أظلم زوايا عصر ما قبل التاريخ، حتى قبل تكوين الأحافير المعروفة. أن في العلم التجريبي عناصر غير مؤكدة حتى في الأمور اليومية وبخاصة في تفسير نتائج التجارب. وعندما يشتغل الإنسان باستنباط الماضي من المعرفة الراهنة حول حالة كوكبنا أبان ألوف السنوات الأولى من طفولته، يصبح التفسير غير مؤكد إلى حد يسلكه في باب التخمين العارف. والشيء المدهش حقا أننا نستطيع أن نقول شيئا

قط حول البيولوجيا في تلك الأحقاب البعيدة. وإذا قبلنا-كما سيرى القارئ- آراء الجيولوجيين حول الخطوط العريضة للتاريخ الجيولوجي لهذا الكوكب فسوف نتمكن من جمع أشتات صورة مترابطة معقولة عن كيفية نشأة أول الكائنات الحية. أما أن يكون للأمر أية علاقة بالحقيقة فذاك موضوع آخر. ولكن الأمر نوع من التخمين يوسع من آفاق فهمنا للحياة وإمكاناتها كما يدرب قدرة التخيل. ودعونا على ذلك نتخلى عن نقائنا العلمي في هذا الفصل ونرى أية صورة نظرية يمكن بناؤها حول طفولة الحياة الأرضية وكيفية نشأة الميكروبات في عالم اليوم.

لقد تضاعف العمر المقدر لهذا الكوكب-كما اتفق عليه-أثناء حياتي ؛ وأعني بعمره الفترة التي عاشها الكوكب جرما كونيا مستقلا كما يعتقد الجيولوجيون وعلماء الكون. ويستنتج مثل هؤلاء العلماء العمر من توزيع المواد المشعة الطبيعية التي يعرفون نصف أعمارها بدقة بالغة. ويقدر العمر اليوم بنحو خمسة آلاف مليون عام. وهذا رقم لا يمكن تصوره، وقد يتجاوز العمر الحقيقي بمئات الملايين من السنين، ولكن أصبح من المستبعد احتمال مضاعفته أو تنصيفه مرة أخرى في المستقبل. وإذا سلمنا بان الأرض كانت عند تكوينها ساخنة-ولا يسلم العلماء جميعا بهذا ولكنا سوف نتبع الغالبية-فقد تبع ذلك فترة زمنية هائلة من التبريد تخللها نشاط بركاني بالغ وظلت «اليابسة» أثناءها شديدة السخونة بحيث امتنع وجود المياه السائلة. واتخذت مثل هذه المياه الحرة (يد 2 ا) هيئة البخار. وحدثت في هذه الفترة عمليات كيماوية تجزيئية (Chemical fractionations) سنتجاوز عنها، ولن نهتم إلا بما حدث عندما بردت الأرض بصورة كافية لتكوين المياه السائلة الدائمة على سطح الأرض منذ ثلاثة آلاف مليون سنة تقريبا. ويبدو من المؤكد نوعا أن الجو كان خاليا من الأكسجين في ذلك الحين. ولا نحتمل هذه الفرضية اعتمادا على الاعتبارات الكيماوية الكونية فحسب وإنما يمكن استنتاجها أيضا من التركيب الكيماوي لتكوينات الصخور التي كانت معرضة في ذلك الوقت. وكان الجو يتركب بصفة رئيسة من الميثان والأيدروجين والأمونيا مع احتمال وجود القليل من ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الأيدروجين والنتروجين والغازات النادرة (الهيليوم والنيون وأرجون والكريبتون والزينون). وربما كانت هناك عواصف رعدية دائمة تقريبا مع

ما يتلوها من البرق والاضطرابات الكهربية. ولم تكن هناك-فضلا عن ذلك-طبقة من الأوزون التي تحمي أسطح الأرض اليوم من أغلب الأشعة فوق البنفسجية التي تطلقها الشمس، ولذلك كان نوع الإشعاع الذي تستقبله الأرض من الشمس مختلفا تماما عما هو عليه اليوم.

وقد قام الدكتور س. ل. ميللر S.L.Miller بإجراء مجموعة من التجارب نتائجها ذات دلائل هامة في مختبر الأستاذ هـ. ك. يوري H.C.Urey، وبين أن مخلوطا رطبا من الميثان والأيدروجين والأمونيا عرض برهة لشحنة كهربية أنتج قليلا من مركبات العضوية تشمل أحماضا عضوية وأحماضا أمينية كان المظنون حتى اليوم أنها لا ينتجها سوى الكائنات الحية فقط. وفي تجارب تلت التجارب السابقة أضيف القليل من سيانيد الأيدروجين hydrogen cyanide وكبريتيد الأيدروجين والفوسفات وهلم جرا إلى الغازات السابق ذكرها فنتجت أنواع مختلفة متعددة من المركبات العضوية، وكثير منها مثل البيورينات Purines يميز الكائنات الحية بنوع خاص. كما أن الأشعة فوق البنفسجية-فضلا عن ذلك-عامل قوي أيضا في تكوين المادة العضوية من أخلاط الغازات التي يحتمل وجودها في الجو البدائي. ويرتب على ذلك أن بحار هذا الكوكب-قبل نشأة الحياة عليه-ربما كانت «حساء» مخففا من المواد العضوية تكونت بفعل التفاعلات الكهروكيميائية electrochemical والضوء كيميائية photo chemical من هذا النوع. وأصبحت البحار نموذج البيئة التي يستطيع أن يزدهر فيها مثلا الكثير من البكتيريا اللاهوائية التي نعرفها اليوم. ولكن لم يكن هناك مثل هذه البكتيريا ولا أية كائنات حية أخرى. وعلى ذلك تراكمت تلك المواد وتفاعلت فيما بينها، وأنتجت مركبات جديدة امتصتها الصخور ثم أزيحت مرة أخرى لتتفاعل من جديد. ولا بد أن البحار كانت في الحقيقة تمور بالتفاعلات الضوء كيماوية تتكون من خلالها وتتفاعل وتتحلل مركبات عضوية لا حصر لها. ويجب أن أؤكد أن تركيز هذه المواد ربما كان منخفضا جدا حتى لا تعطى كلمة «حساء» انطباعا خاطئا. والبحار التي يعتقد أن ملوحتها لم تكن تتجاوز ثلث ملوحتها اليوم، كانت تحتوي على مواد غير عضوية، كالأملاح ونحوها اكثر بمراحل مما فيها من الأحماض الأمينية والكيماويات العضوية الأخرى. وكانت الأمكنة الوحيدة التي ترتفع فيها نسبة المواد العضوية هي حواف البرك

الآخذة في الجفاف أو أسطح المواد ذات الشراهة الخاصة للمواد العضوية كالطمي مثلا.

لقد كنت في الفصل الرابع شديد التأكيد على أن احتمال التولد التلقائي اليوم ضئيل للغاية. ولعل ضآلة الاحتمال كانت أقل منذ ثلاثة بلايين من السنين أثناء الفوران بالعمليات الكهروكيميائية والضوء كيميائية التي كانت تحدث كما وصفت. وقد ناقش برنال Bernal وأوبارين Oparin وهالدين Hadladne وبيري pirie وآخرون، كيف أن المادة العضوية-التي تركزت على أسطح الصخور أو الطمي-ربما طرأت على تركيبها تعقيدات أدت إلى تكوين جزيئات مشابهة لجزيئات المادة الحية التي نعرفها اليوم، وأن نوعا من التطور الكيماوي أمكن حدوثه ؛ إذ تكونت الجزيئات وتكسرت بشتى الطرق حتى خرج منها جزئ قادر على تيسير بناء جزيئات أخرى تشبهه. وقد لا تكون هذه الخاصية صفة لجزئ واحد، فربما اتفق أن اجتمعت الجزيئات وأدت إلى إنتاج مجموعة كاملة. ولعل لمثل هذا الجزيء أو مجموعة الجزيئات خاصية أساسية من خواص الكائنات الحية. أي التكاثر الذاتي Self reproduction. ولا شك أن أنظمة عديدة كهذه تكونت ثم تلاشت قبل أن يستقر واحد منها. ولكن أحد الأنظمة-بعد أن تم استقراره-اتجه إلى منع ظهور أنظمة أخرى باستخدام المتاح من المادة العضوية في إنتاج المزيد من نوعه ذاته.

إن هذه النظريات الآية حول أصل الحياة-والتي بسطتها بصورة سطحية شديدة-آراء شائعة اليوم بين العلماء الذين يتناولون هذه المسائل وان كانوا يختلفون حول التفاصيل. فقد يؤكد البعض أهمية الحرارة من البراكين المحلية في مقابل الإشعاع كمصدر للفوران الكيماوي الذي أدى إلى ظهور الجزيئات المشابهة لجزيئات المادة الحية. ويصر آخرون على أهمية تكوين التجمعات المساعدة co-acervates، وهي قطرات من المادة العضوية تتكون تحت ظروف خاصة في الماء وتنقسم إلى اثنتين عندما تزيد على حجم معين، فهي أشبه بالميكروبات الحية وبينا يفضل آخرون أن يفرضوا تدخل القوة الإلهية. [1] وليس من المستبعد أن تكون الكائنات الأرضية الحية قد جاءت بذورها من مادة حية كامنة من مكان آخر في الفضاء وإن كان هذا الرأي اليوم غير شائع فهو يلجا إلى إزاحة المسالة ولكنه لا يجيب عن

مسالة كيفية نشأة الحياة. وسوت نوافق-من أجل تحقيق هدفنا من هذا الفصل-على أن الكائنات الحية قد ظهرت بطريقة ما في بيئة مائية خفيفة الملوحة تحتوي على كل صنوف المواد العضوية الذائبة، يتركز بعضها على أسطح المواد الصلبة كالصخور والطمي وجسيمات الرمال، وأن الجو كان يحتوي على قليل من الأكسجين أو يخلو منه، وأن الكائنات البدائية-وان كنا لا نعلم شيئا عن أشكالها-قد صنعت صنيع الميكروبات فيما يتعلق بكيميائها من حيث أنها كررت ذواتها من المواد العضوية المتاحة. وقد خطت الخطوة الأولى في عملية تطورية حين استخدمت المواد المتاحة، وعلى ذلك قللت من احتمال ظهور الكائنات المنافسة.

أي نوع من الميكروبات أشبهته هذه المواد أقرب الشبه ؟ من الواضح-إذا رجعنا إلى الفصل الثاني-أن البكتيريا اللاهوائية ذات خصائص مشتركة مع هذه الكائنات البدائية. فهي تستطيع النمو في غياب الهواء بهدم المواد العضوية والحصول على الطاقة اللازمة للنمو من هذه التفاعلات. والميكروبات اللاهوائية التي نعرفها اليوم ذات تركيب على قدر غير قليل من التعقيد كميكروبات، ومن المستبعد إلى أقصى حد أن تحتوي على أية أشباه للكائنات الحية الأولى. ولكن الإنسان يستطيع القول بان أنواعا عديدة من البكتيريا اللاهوائية التي نعرفها اليوم كانت تستطيع أن تحيا لو وجدت في بيئة شبيهة لما نتصوره قبل نشأة الحياة.

ومن الفوارق الهامة أن هذه الميكروبات البدائية ربما كانت قدراتها التخليقية محدودة جدا. ولعلها كانت تتكون من عدد قليل نسبيا من الجزيئات المعقدة. ولعلها صنعت نفسها من أصول على نفس الدرجة من التعقيد متاحة في «الحساء» لما حولها. وكانت في حاجة إلى تفاعلات كيماوية قليلة جدا لمضاعفة أعدادها. وهي لم تكن مع ذلك تشبه الفيروسات كما يميل بعض الناس إلى الإعتقاد ؛ لأن الفيروسات تحتاج إلى نظام حي كامل للنمو عليه ؛ فهي-كما رأينا في الفصل الثاني-«تبرمج» Programme إنزيمات كائن آخر لتصنع مزيدا من الفيروسات بدلا من المنتجات الطبيعية ؛ إذ تعتمد الفيروسات على وجود نظام كيماوي حيوي معقد تماما.

وليس لدى ميكروباتنا البدائية مثل هذه الأنظمة لتحيا عليها. ولكن كان لديها على الأقل مخزون رائع من الطعام. وقد كانت-فضلا عن ذلك-معرضة

للإشعاع فوق البنفسجي الدائم، وتسبب الأشعة فوق البنفسجية تحولات كيماوية في مختلف الجزيئات حتى تلك الجزيئات التي تكون ميكروباتنا البدائية. وربما قتلت مثل تلك التحولات الميكروبات، وأوقفت قدرتها على التكاثر. ومن المحتمل خلال الملاين بعد الملايين من السنين أن بعضها غير تركيبه الكيماوي إلى حد كبير، دون أن يفرط في قدرته على التكاثر. وعلى ذلك أمكن خلق ميكروبات جديدة مختلفة بطبيعتها عن سابقاتها وقادرة على التكاثر في الصورة الجديدة. وهذه العملية مثال بسيط لما نعرفه باسم الطفرة :mutation وهي تغير في التركيب الموروث لكائن حي يسببه عامل فجائي، ويؤدي إلى تكوين ذرية لها صفات مختلفة عن الآباء. أن الطفرة-كما يعرف كل قارئ-هي أساس التطور. وإذا أضفى التطفر مزية على الطافرات فإن تلك السلالة تميل-على المدى الطويل-إلى التغلب على سابقاتها وإلى أن تحل محلها. وقد حدث التحول البطيء للأنواع الحية الذي نسميه التطور خلال آلاف السنين على هذا الكوكب بهذه الطريقة بوساطة العملية المعروفة باسم الانتخاب الطبيعي.

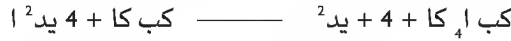
وسوف نذكر المزيد عن الطفرة في هذا الفصل فيما بعد ؛ ذلك بأننا نعرف الكثير عن كيفية وسبب التطفر في الميكروبات الآن، إلا أنه يكفي في موضوعنا الراهن أن نشير إلى أن الأشعة فوق البنفسجية من أنجع الحوافز في الطفرة وعلى ذلك إذا كان لميكروباتنا البدائية أية مشابهة بالميكروبات الحالية فهي أن معدل تطفرها، ربما كان عاليا جدا.

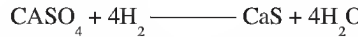
وإذا كان ظهور الكائنات الحية في الحساء الأولى سبيلا إلى إزالة الجزيئات العضوية المعقدة من ذلك الحساء وإدخالها في الكائنات البدائية فالنتيجة المترتبة أن أية طفرة-مكنت الكائن الحي من الحياة مع قدر أقل من المراد العضوية-قد أكسبت الكائن الطافر مزية هائلة يتفوق بها على جيرانه. وعلى ذلك يكون هناك ضغط انتقائي قوي يحفز ظهور قدرة تخليقية زائدة ؛ أي أن التطور البيولوجي قد حدث في اتجاه الاحتياجات الغذائية الأبسط فالأبسط حتى ظهرت في النهاية الكائنات ذاتية التغذية الذاتية (وسوف أذكر القراء-حتى اكفيهم مؤونة التقليب الظافر فهرس الشروح-بان ذوات التغذية الذاتية هي ميكروبات يمكن أن تستخدم المواد غير العضوية كلية من أجل النمو مثل الكبريت وثاني أكسيد الكربون

والأكسجين أو ضوء الشمس وثاني أكسيد الكربون والماء).

إن فكرة ظهور ذوات التغذية الذاتية بعد ذوات التغذية العضوية تنشا طبيعيا من هذه الصورة للتطور، وإن كان الاتفاق لما يستقر دائما على هذه المسالة. وقد كان أغلب الميكروبيولوجيين منذ ثلاثين عاما يميلون إلى اعتبار ذوات التغذية الذاتية مثلا على اكثر الكائنات الحية بدائية، والسبب ببساطة أن أغلب الميكروبات الآن عضوية التغذية، وفي الإمكان رسم مسالك تطورية معقولة بين الميكروبات الموجودة حاليا في اتجاه ذوات التغذية العضوية. وقد كان الميكروبيولوجيون على حق تماما في هذه النقطة الأخيرة، كما سنرى فيما بعد. ولكن من العسير اعتبار ذوات التغذية الذاتية أمثلة على اكثر الكائنات الحية بدائية لسبب بسيط هو أنها تحتاج الظافر امتلاك عدد هائل من الإنزيمات المنفصلة حتى تتمكن من بناء أجسامها من المواد غير العضوية. وليس هناك شك في أن ذوات التغذية الذاتية قد ظهرت في بواكير التطور ولكن الأدعى الظافر المعقول أن نتصورها قد نشأت من كائنات كثر بدائية كانت عضوية التغذية. ترى ما هي صنوف الكائنات ذاتية التغذية التي نعرفها اليوم وقد تشبه الصنوف الأولى من ذوات التغذية الذاتية ؟ لا بد أن تكون هذه الكائنات لا هوائية، وعلى ذلك تكون من المرشحات لهذا التشابه بكتيريا الكبريت الملونة التي تؤكسد الكبريتيد الظافر الكبريت والكبريتات بمساعدة ضوء الشمس. وهناك طحالب خضراء مزرقة يمكن أن تنمو لا هوائيا-إذا وجد الكبريتيد-وتختزل ثاني أكسيد الكربون كذلك مع ضوء الشمس. كما أن هناك بكتيريا تستطيع اختزال الكربونات إلى الميثان أو حمض الخليك باستخدام الأيدروجين. وقد عرفنا سلالة من البكتيريا يمكنها اختزال النترات بينا تؤكسد الحديدوز الظافر الحديديك، وأخرى تؤكسد الكبريت مع النترات، وبكتيريا غيرها تستطيع أكسدة الأيدروجين مع النترات. ومع ذلك فليس مجال الاختيار بين ذوات التغذية الذاتية واسعا جدا. وليس الاحتمال كبيرا في أن يكون البعض-من تلك البكتيريا التي ذكرناها-من المرشحات كشبيهات لذوات التغذية الذاتية الأولى، ذلك بان هناك احتمالا قليلا لوجود كثير من النترات في الظروف الكيماوية السائدة آنئذ، وان كان المحتمل وجود وفرة من الكبريت والكبريتيد في البيئة.

وتأتي إحدى الإجابات على هذا السؤال من اكتشاف تم عام 1960 لمجموعة غذائية من الميكروبات يبدو أنها تقف موقفا وسطا بين الكائنات ذاتية التغذية والكائنات عضوية التغذية، إذ تستطيع بكتيريا ديسلّفو فيبريُو Desulfovibrio مثلا-وهي مجموعة من البكتيريا المختزلة للكبريتات-أن تؤكسد الأيدروجين مع الكبريتات لتوليد الماء والكبريتيد:





ثم هي تستخدم الطاقة الناتجة من هذا التفاعل لتمثيل المواد العضوية. وكذلك يوجد نوع من ثيوباسلس Thiobacillus يسمى ثيوباسيللس انترميديوس. Intermedius يستطيع المزاوجة بين أكسدة الكبريت وتمثيل المواد العضوية. وهناك دليل على أن البكتيريا من جنس هيدروجينوموناس Hydrogenomonas تزاوج بين أكسدة الأيدروجين وعمليات التمثيل. وقد اطلع الكاتب على بحث واحد على الأقل تبين أن البكتيريا المؤكسدة للميثان تؤدى عمليات مشابهة عند أكسدة الميثان. ومن المؤكد أن بعض بكتيريا الكبريت التي تمثل ضوئيا Photosynthetic sulfur bacteria تنتج الخلات acetate نتيجة لعملية التمثيل الضوئي. وكما رأينا منذ برهة تعتبر بكتيريا الكبريت التي تمثل ضوئيا من أفضل المرشحات بين ميكروبات اليوم كشبيهات للميكروبات البدائية ذات التغذية الذاتية. وعلى ذلك يبدو من المحتمل أن التغذية الذاتية autotrophy-وان جاز ظهورها في مرحلة مبكرة من التطور-قد سبقها ما يسمى «التغذية الذاتية الكيماوية»Chemotrophic assimilation أي المزاوجة بين تفاعل غير عضوي يولد طاقة من ناحية، وتمثيل مركبات عضوية بسيطة في الخلية من ناحية أخرى، ثم استعمال هذه المركبات العضوية في بناء مادة الخلية. ولا يحتاج الأمر بعد ذلك سوى خطوة تطورية صغيرة من مرحلة التمثيل هذه إلى التغذية الذاتية الحقيقية، أي تمثيل ثاني أكسيد الكربون. [2] وهناك الميكروبات تداخل بين هذين النمطين من التغذية. ويستطيع الإنسان اليوم أن يجد أنواعا تؤدى أحد النوعين أو كليهما بين المجموعات ذاتها من البكتيريا مثل مجموعة ثيوباسلس thiobacilli. ولكن ظهور التغذية الذاتية كان خطوة حاسمة في التطور لأنها هيأت أول بديل موثوق به للفوران الضوء كيمياوي الأولي يقوم بدوره في تراكم المواد العضوية

على هذا الكوكب. وإذا كانت الكائنات ذاتية التغذية «الجزئية»[3] التي وصفناها قد تستخدم مكونات «الحساء» الأولى بصورة كفا بكثير من سابقاتها الأولية، فهي ما زالت تعتمد على هذه المكونات كلية في سبيل بقائها. وهي لا تستطيع أن تسارع في النمو والانتشار بصورة اكبر مما يسمح بها تكوين المادة العضوية بطريقة ضوء كيماوية. أما الكائنات ذاتية التغذية الحقيقية، [4] فقد كانت المخلوقات الأولى التي أصبحت مستقلة بتخليق عضوي ذاتي Spontaneous organic synthesis، والأرجح أن اكفأها كانت تلك التي استخدمت الإشعاع الشمسي في هذا التخليق، وهي ميكروبات لا هوائية تمثل أجواء النباتات الخضراء.

وتنشأ مشكلة حين نفترض مثل تلك الأهمية الفائقة لذوات التغذية الذاتية في الاقتصاد البدائي لهذا الكوكب: من أين حصلت هذه الكائنات على ثاني أكسيد الكربون لتثبيته عندما كان الجو يتركب من الميثان والأمونيا والأيدروجين؟ والإجابة المحتملة هي أن الأكسجين تكون باستمرار بوساطة تفاعل ضوء كيماوي مع الماء، ولكن هذا الغاز-بسبب طبيعة الجو-تفاعل بسرعة مع الميثان لتوليد ثاني أكسيد الكربون، كما تفاعل الأكسجين مع الأمونيا لتوليد النيتروجين ثم مع الأيدروجين لتوليد الماء مرة ثانية. وعلى ذلك تم تحول دائم للميثان إلى ثاني أكسيد الكربون. وللأمونيا إلى النتروجين على الأرض، وأدى إلى تكوين صخور الكربونات من ناحية والى النتروجين الطليق الشائع في جونا اليوم من ناحية أخرى.

دعونا نتوقف عند هذه المرحلة، وننظر فيما إذا كنا قادرين على جمع بعض الحقائق المتعلقة بهذه الصورة. أننا نرى عالما فيه بحار دائمة، ولعلها أصبحت ملحة تماما بعد أن غسلت العواصف والأمطار الأملاح الذائبة من الصخور والتلال والجبال بالرغم من أنها كانت فيما سبق ضعيفة الملوحة نوعا. وكان البحار خاليا من الأكسجين ولكن كان هناك قدر وفير من أشعة الشمس مع مكون قوي من الأشعة فوق البنفسجية. وكان في البحار قدر مناسب من كبريتيد الأيدروجين الطليق تولد جزئيا بفعل الميكروبات، كما تخلف بعضه من الجو البدائي. كما عاشت جماعة من الميكروبات البدائية تدير دورة الكبريت (إذ تختزل الكبريتات إلى الكبريتيد ثم تؤكسد هذا عن طريق الكبريت إلى الكبريتات)، وتتمثل المواد العضوية الناتجة بطريقة

ضوء كيماوية، بالإضافة إلى أية مواد عضوية تولدها ذرات التغذية الذاتية الناشئة. وبالرغم من احتمال أن الميكروبات المؤكسدة للحديد والأيدروجين كانت موجودة إلا أننا سوف نجزم بعدم وجودها آنذاك لأن مثيلاتها اليوم تحتاج عامة إلى النتروجين أو النترات، ولعل هذه المواد كانت نادرة. ولعل ثيوباسلس Thiobacilli كانت نادرة لسبب مشابه. وربما كانت الميكروبات المنتجة للميثان شائعة، وهي تختزل ثاني أكسيد الكربون إلى الميثان بينا تؤكسد أية مادة عضوية متاحة. وربما كانت الميكروبات القادرة على اختزال ثاني أكسيد الكربون إلى الخلات شائعة بالمثل، ولعلها وجدت في الخلات واحدة من أفضل المواد المعروفة المناسبة لعمليات التمثيل الكيماوي في النمو والتي وصفناها.

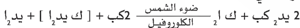
قد تذكرني قائلا وأين الحقائق ؟ حسنا، هناك مجموعة من التجارب لها صلة وثيقة بهذا السؤال. فالبكتريا المختزلة للكبريتات-كما رأينا في الفصل السادس-تفصل نظائر الكبريت المشعة عند اختزال الكبريتات، وهي نقطة بالغة الأهمية في تقرير الأصل الميكروبي لرواسب الكبريت. ويستطيع الإنسان باختبار كمية نظائر الكبريت المشعة في الأملاح المعدنية المرسبة خلال الأحقاب الجيولوجية المعروفة أن يعرف ما إذا كانت تعرضت لفعل الميكروبات. وقد استقصى عديد من الجيولوجيين الأمريكيين هذا الأمر. وهناك دليل واضح على أن فعل الميكروبات بوساطة بكتيريا الكبريت يرجع إلى ثمانمائة مليون سنة مضت، وتبدى بعض العينات التي يرجع عهدها إلى بليونين من السنين فصلا مؤكدا positive fractionation، وفضلا عن ذلك وجد الدكتور بارجهورن Barghoorn تكوينات مجهرية تبدو قريبة الشبه جدا بالطحالب الخضراء المزرقة، وهذه الطحالب وثيقة الصلة اليوم ببكتيريا الكبريت ذات التمثيل الضوئي photosynthetic sulfur bacteria ؛ وجد ذلك في بعض صخور ما قبل العمر الكمبري Pre-Cambrian التي يرجع تاريخها إلى أبعد من بليوني سنة خلت (وهي صخور صوانية Gunflint chert تقع شمال بحيرة سوبيريور superior في كندا). (ولعلي أضيف هنا أن الأشكال الموجودة في الصخور الصوانية تشبه البكتيريا المموجة المحبة الحرارة التي أوجزنا الإشارة إليها في الفصل الثاني. وهناك شئ من المنطق في الرأي القائل بان أغلب الميكروبات البدائية كانت محبة للحرارة، لأن المياه السائلة الأولى

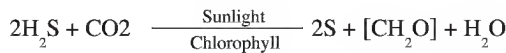
على هذا الكوكب كانت حارة. ولكننا في حديثنا الراهن ينبغي أن ندع تلك الفكرة كواحدة فقط من تخمينات عديدة ممكنة حول حالة الحياة البدائية.)

وربما كانت الآثار المجهرية في الصخور القديمة دليلا لا يعتمد عليه تماما في دعم فكرة ما عن التطور، ولكن فصل النظائر يبدو موثوقا به، ويزودنا بأول حقيقة مقنعة في هذا المجال. ويمكن أن نؤكد أن عمليات الأيض الميكروبي للكبريت كانت شائعة الحدوث فيما بين بليونين من السنين وثمانمائة مليون سنة (ودعنا نذكر عابرين كي نتأمل مقياس الزمن أن أولى الأحافير الثابتة تبدو في الصخور التي يبلغ عمرها نحو خمسمائة مليون سنة) وكان جو هذا الكوكب لا هوائيا خلال هذا الزمن كله. وكانت الكائنات الحية السائدة هي الأسلاف البعيدة لبكتيريا الكبريت في عصرنا الحاضر، وكانت العملية الكيماوية الحيوية الرئيسة على الأرض هي دورة الكبريت. أو هكذا يبدو.

ما الذي حدث بين ثمانمائة مليون سنة خلت حينما لم يكن الأكسجين متوفرا وخمسمائة مليون سنة عندما كان هناك بعض الأكسجين أن لم يكن بتركيزات مثل ما هو موجود اليوم ؟.

تحتوي بكتيريا الكبريت الملونة التي نعرفها اليوم على الكلوروفيل، وهو الصبغة الخضراء اللازمة للتمثيل الضوئي في النباتات. ويستطيع الإنسان أن يعبر عن العملية الكيماوية في تمثيلها الضوئي ببساطة شديدة على النحو التالي:



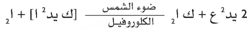


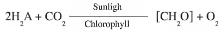
$$2H_2S + CO2 \xrightarrow[\text{Chlorophyll}]{\text{Sunlight}} 2S + [CH_2O] + H_2O$$

ويمثل [ك يد 2 ا] المادة الكربوهيدراتية (ويعني هذا بالنسبة لغير الكيماويين أن البكتيريا تصنع المواد الكربوهيدراتية من ثاني أكسيد الكربون بمساعدة ضوء الشمس بينا تشطر بريتيد الأيدروجين إلى الكبريت والماء).

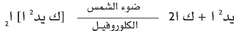
ونعرف اليوم مجموعة من البكتيريا الملونة غير الكبريتية تؤدي عملية التمثيل الضوئي باستخدام المادة العضوية بدلا من كبريتيد الأيدروجين (وقد أوجزنا الإشارة إليها في الفصل الثاني). وهي أيضا لا هوائية (عندما

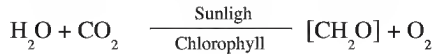
تؤدي التمثيل الضوئي على الأقل). ويمكن أن نعتبر أنها تزيل الأيدروجين من المادة العضوية وتستخدمه في اختزال ثاني أكسيد الكربون. وإذا كتبنا يد² ع H_2A كرمز لجزئ عضوي تستطيع البكتيريا إزالة الأيدروجين منه فإن في الإمكان توضيح تمثيلها الضوئي على النحو التالي:





وهو شبيه جدا بأسلوب بكتيريا الكبريت ونستطيع بحكمة الاسترجاع في النظر أن ندرك أن المسالة لم تكن بحاجة إلا إلى الوقت لكي يحدث تطفر كاف يمكن الميكروبات من أداء العملية كلها بغير كبريتيد الأيدروجين أو الجزيء العضوي يد 2 ع مستخدمة الماء فقط:





وهي تشطر الماء منتجة الأكسجين.

وهذا التفاعل-لو شاع انتشاره-أدى إلى تأثير لافت على بيئة كوكبنا كلها ؛ ذلك بأن كبريتيد الأيدروجين والأكسجين يتفاعلان معا. وهما يتفاعلان ببطء فقط، ولكنهما لا يمكثان جنبا إلى جنب طويا: إذ هما ينتجان الكبريت والماء. وعلى ذلك يكون ظهور الميكروبات القادرة على توليد الأكسجين من الماء كارثة على دورة الكبريت. فهي تزيل كبريتيد الأيدروجين، وتستنزف الكبريتيد بالتأكسد وتتجه إلى إيقاف العملية كلها. وإذا وقفت العملية فان هذا يعني أن الميكروبات المسئولة عنها ستتوقف عن النمو، فيموت أغلبها أما الأحياء منها فستبقى في بيئات محدودة فقط ؛ كالنظم الكبريتية مثلاSylfureta والتي وصفناها في الفصل الأول حيث أدت الظروف المحلية الخاصة إلى إبعاد الأكسجين.

إننا نستطيع بهذه الطريقة أن نرى عملية منطقية تؤدي إلى ظهور ذوات التغذية الذاتية من خلال التمثيل الضوئي، والتي ولدت الأكسجين من الماء بينا حولت ثاني أكسيد الكربون إلى المادة العضوية. ثم تزول الغازات كالأمونيا وكبريتيد الأيدروجين من الجو ببطء بسبب قدرة التفاعل الكيماوي للأكسجين.

فيهرب الأيدروجين باستمرار في الفضاء ؛ فهو أخف من أن يحتجزه كوكب في مثل كتلة الأرض زمنا طويلا. وعلى ذلك يصبح الجو يتألف من الأكسجين والنتروجين وثاني أكسيد الكربون، ويمكن أن يضاف بعض الميثان المتخلف كذلك، ولكن أغلب الأمونيا المتخلفة تذوب في البحار. أما ميكروباتنا اللاهوائية البدائية فستجد الأحوال عامة غير مرضية إلى حد كير، ذلك بان البيئة تساعد الكائنات القادرة على استخدام الأكسجين حيويا بطريقة ما تبتدعها. وينتج الأكسجين في الجو الأوزون عل أطراف الغلاف الجوي كما يفعل اليوم. ويمنع هذا الأوزون كثيرا من الأشعة فوق البنفسجية التي كانت مسئولة في الظروف البدائية عن الفوران الضوء كيماوية. وعل ذلك يقل احتمال التولد التلقائي، كما يتناقص معدل التطفر العادي بين الميكروبات. لكن هذا الموقف قد يناسب الكائنات الحية التي سبق استقرارها، لأن التطفر يستمر، وان كان معدل حدوثه أقل. وتصبح الوراثة كالبيئة ذات صفات أثبت، فتبقى الأنواع فترات طويلة بغير تغيير. إننا نعلم أن الكائنات التي تتنفس الأكسجين قد ظهرت فعلا، فهل نستطيع أن نذكر شيئا عن كيفية ذلك ؟

إن بين الإنزيمات لدى الكائنات التي تتنفس الأكسجين اليوم مجموعة تسمى السيتوكرومات Cytochromes. ولهذه صلة كيماوية بالهيموجلوبين الأحمر في الدم ؛ فهي تحتوي على ذرات من الحديد مترابطة في مجموعة كيماوية خاصة تسمى البورفيرين porphyrin، علاوة عل الأحماض الأمينية العادية. وتكسب مجموعة البورفيرين-فيما قد يخمن الكلاسيكيون-[5] الجزيء لونا أحمر أو قرمزيا. وتلعب السيتوكرومات دورا في التفاعلات النهائية مع أكسجين أثناء التنفس، فهي تتعرض لتفاعلات عكسية reversible من التأكسد والاختزال (إذ تروح-طردا وعكسا-ذرة الحديد بين الحديدوز والحديديك). وتحصل جميع الكائنات التي تتنفس الأكسجين-من الإنسان

إلى الميكروبات-على طاقة كبيرة لعملياتها البيولوجية من هذه التغيرات، وذلك بعملية لم نفهمها تماما حق الآن [6].

وليس لدى البكتيريا اللاهوائية التخميرية سيتوكرومات. وإنما لديها أنزيمات بيئية تحتوي الحديد تسمى في وديكسينات Ferrodexins تتعرض لتفاعلات عكسية من التأكسد والاختزال، ولكن ليس لها فيما نعلم وظيفة إمداد الطاقة. ولعل ميكروباتنا المتطورة في حاجة إلى ابتداع نظام الحديد والبورفيرين وإدماجه مع عملية لتوليد الطاقة حتى تحسن استخدام الأكسجين. ونحن نعلم بالطبع أنها فعلت ذلك، ولكن كيف ؟ أن مما يوحي بذلك في الحقيقة أن البكتيريا المختزلة للكبريت-متميزة عن البكتيريا اللاهوائية كلها تقريبا-تحتوي على الستيوكرومات. وهي بصفة عامة تملك سيتوكروما واحدا فقط، وهي من هذه الناحية أبسط من البكتيريا الهوائية التي تملك عادة نوعين أو ثلاثة أنواع مختلفة في الميكروب الواحد. وهناك بكتيريا لا هوائية أخرى لديها-سيتوكرومات-وهي بكتيريا الكبريت ذات التمثيل الضوئي-ويبدو أن سيتوكروماتها تتعلق بالتمثيل الضوئي لا بالتنفس (والتمثيل الضوئي في النباتات يتعلق كذلك بالسيتوكرومات) وعلى ذلك تحتوي البكتيريا المختزلة للكبريتات التي نعرفها اليوم على مثيل للسيتوكرومات التي نجدها عامة في البكتيريا الهوائية. ولو كانت أسلافها البدائية تحتوي كذلك على مثل هذه الإنزيمات فربما كانت الخطوة عند الميكروبات بسيطة في التطور كي تبتدع القدرة على اختزال الأكسجين بعد القدرة على اختزال الكبريتات. ونعني أنها بسيطة إذا قورنت بتطور القدرات التخليقية المعقدة التي تتعلق بالتغذية الذاتية.

وحالما يظهر ميكروب قادر على اختزال الأكسجين إلى ماء بدلا من اختزال الكبريتات إلى الكبريتيد فسيجد عالما جديدا ينتظره ؛ إذا فرضنا أن التطور قد سار في هذا الاتجاه. وستتاح له ولذريته كل تلك المناطق على كوكب الأرض التي جعلها وجود الأكسجين الطلق غير مناسبة للبكتيريا اللاهوائية. ومن المحتمل في الحقيقة أن الكائنات التي تتنفس الهواء قد نشأت من مجموعات عديدة من البكتيريا اللاهوائية البدائية إلى جانب البكتيريا المختزلة للكبريتات، وربما كانت الأسلاف الأخرى موجودة بين البكتيريا ذات التمثيل الضوئي التي تحتوي على السيتوكرومات أيضا كما

ذكرت. وقد ذكرنا في الفصل الثاني أن هناك صلة بين البكتيريا ذات التمثيل الضوئي وبعض الطحالب البدائية بنوع خاص تسمى الطحالب الخضراء المزرقة. ولهذه الكائنات فيا بينها عدد من الصفات المشتركة.

وهناك أنواع على الحد الفاصل يبدو أنها تمد القنطرة بين البكتيريا ذات التمثيل الضوئي-التي هي لا هوائية-وبين تلك الطحالب الخضراء الضاربة للزرقة وهي هوائية. وبعض هذه الطحالب الخضراء الضاربة للزرقة لديها الصفتان معا أي أنها تستطيع النمو مع الهواء أو تستطيع تمثيل الكبريتيدات. وهناك في أقصى الطرف المقابل ميكروبات على الحدود بين الطحالب الخضراء المزرقة والطحالب الخضراء العادية. وعلى ذلك نستطيع أن نرى عندئذ أن هناك تتابعا تطوريا فاصلا من خلال البكتيريا ذات التمثيل الضوئي والطحالب الخضراء المزرقة نحو الطحالب الخضراء ومن ثم إلى المملكة النباتية كلها اليوم، إذا كانت الأنواع التي نعرفها اليوم تمثل الكائنات التي تطورت حين تغير جو هذا الكوكب من نمط الاختزال إلى نمط التأكسد.

ولن نستطيع متابعة هذه القصة في مجالات الكائنات متعددة الخلايا وفي الحقيقة أنا مضطر لضيق المكان أن أهمل كثيرا من التفصيلات الخاصة بما قد يكون عليه تطور الميكروبات وهي محور حديثنا. ولكن لعلنا نستطرد إلى حد يكفي لإقامة الحيوانات عل طريق تطورها أيضا حيث أننا ألمحنا إلى تطور النباتات العليا....

إن الحيوان الأولي (البروتوزون) يلوجلينا Euglena-الذي صادفناه في الفصل الثاني-حيوان دقيق وحيد الخلية-يقع موقعا وسطا بين النباتات والحيوانات. وهو يحتوي علي جسم يسمى الكلوروبلاست Chloroplast-وفيه الكلوروفيل-الذي يمكنه من النمو معتمدا على عملية التمثيل الضوئي كالنبات تماما، ولكنه يستطيع أيضا تمثيل الطعام الجاهز كالحيوان-وإذا زرعناه في الظلام فانه يفقد الكلوروبلاست فيه، ثم تفقد فريته بعد عدة أجيال ما فيها من الكلوروبلاست تماما، وتصبح كالحيوانات كلية. وتصير شبيهة بنوع آخر يسمى أستازيا Astasia الذي صادفناه في الفصل الثاني أيضا. ويبدو ما يلي نموذجا معقولا جدا في تطور الحيوانات: (ربما وجدت بعض الطحالب المتحركة أنه من الأكفأ لها أن تبحث عن المادة العضوية الجاهزة

وتتمثلها اعتمادا على قدرتها على الحركة هنا وهناك، وفقدت بذلك قدراتها على التغذية الذاتية وأصبحت «طفيلية» 7(Parasitic) على منتجات تلك الأنواع التي ظلت معتمدة على التغذية الذاتية. وفقد بعضها الكلوروبلاستات وأصبح بذلك من حيوانات البررتوزوا Protozoa ثم لا بد أن أنواعا مختلفة قد نشأت ثم ظهرت مجموعات متعددة من الخلايا وهي الميتازوا Metazoa بعد سلسلة متتابعة من التكيف والتغيير، وأخذ تطور المملكة الحيوانية بعد ذلك سبيله. إن علينا مرة أخرى أن نبر القصة عند مرحلة الميكروبات، ولكن مسالة تطور البروترزوا من الطحالب بفقدان وظيفة التغذية الذاتية لها أهمية عامة في استمرار تطور الميكروبات الأخرى. أن الفطريات مثلا خيطية ومتفرعة غالبا مثل الطحالب الأعقد، وهناك احتمال كبير في أنها نشأت كصور متفسخة degeneraten من أمثال هذه الطحالب: أي أنها كائنات وجدت في تمثيلها لمنتجات الطحالب وغيرها من ذوات التغذية الذاتية مزية تطورية أفضل من الاستمرار في تثبيت ثاني أكسيد الكربون بنفسها. وأغلب البكتيريا التي نتداولها اليوم في المختبرات ليست من ذوات التغذية الذاتية، ويمكن أن يجد الإنسان في بعض المجموعات أمثلة ذات حاجات غذائية متزايدة التعقيد. وقد رأينا في مناقشتنا لأوساط مزارع البكتيريا في الفصل الرابع كيف أن بعض البكتيريا تنمو مع بضع كيماويات بسيطة بينما تحتاج الأخرى إلى أعقد الأوساط الغذائية ولم تنجح زراعة البعض منها بمعزل عن الأنسجة الحية. وكان من الإسهامات المبكرة في البكتيريولوجيا التي قدمها العالم الفرنسي الشهير الأستاذ أ. لووف A. Lwoff إدراكه أن تطور الميكروبات-بعد تمام استقرارها على الأرض-كان يتجه نحو فقدان الاكتفاء الذاتي. فقد أصبحت الميكروبات-وبخاصة الميكروبات المرضية-تعتمد في وجودها اكثر فاكثر على المواد العضوية التي تتراكم من النباتات والحيوانات والميكروبات متعددة القدرات كما حلت الكائنات العليا أو مخلفاتها محل «الحساء» الأولي كبيئة لأغلب الميكروبات. والتغذية الذاتية وحتى القدرات التخليقية المتقدمة ليست فيها مزية تطورية. ولذلك اتجه التطور الميكروبي ناحية فقدان مختلف القدرات الكيموحيوية الخاصة.. ولعل الحالة القصوى لمثل هذا التفسخ الفسيولوجي موجودة في الفيروسات. فتلك مخلوقات بغير تركيب تقريبا، وقد فقدت كل أنزيماتها

وتعيش كلية كطفيليات على الكائنات الأخرى. ونستطيع مرة أخرى أن نجد نماذج لعملية تطورية إذا نظرنا إلى الأنواع الوسيطة الموجودة اليوم، إذ توجد في التربة كائنات دقيقة تشبه البكتيريا تسمى بديللو فيبريو Bdellovibrio التي تنمو على المادة العضوية وتعدى البكتيريا الحقيقية وتتطفل عليها إن سنحت لها فرصة لذلك. وتوجد كائنات دقيقة وهي الميكوبلازمات Mycoplasms التي يمكن القطع بأنها تشبه البكتيريا (وان كانت العلاقة مع البروتوزوا أو الفطريات ممكنة أيضا لأنها تحتوي على الاستيرولات) ولكنها تفتقر إلى تركيب البكتيريا المتماسك. [8] كما أن هناك فيروسات كبيرة تحتوي على تركيبات بروتينية معقدة تماما ولكن بدون أنزيمات للأيض. وتشكل هذه المخلوقات سلسلة متتابعة متزايدة في درجة تطفلها، حف يصل الإنسان إلى الفيروسات الصغيرة. التي يبدو أنها تتكون من جزيئين أو ثلاثة جزيئات ضخمة قادرة على قلب الأيض في كائنات أعقد منها تركيبا كي تخلق نفسها (تتكاثر)، ولكنها عاجزة عن فعل أي شيء في المواد غير الحية. وعلى الرغم من أن الإنسان يميل بالفطرة مسبقا إلى اعتبار الكائنات شديدة البساطة كالفيروسات الصغيرة بدائية للغاية آلا أن الأرجح في الحقيقة أنها ذرية متفسخة للغاية elaborate degenerates من كائنات كانت في مثل تعقيد البكتيريا على الأقل.

وتكاد الفيروسات في الحقيقة أن تكون طفيليات كاملة: فهي لا تعمل شيئا لنفسها حتى يظهر العائل الذي تدفعه إلى إنتاج المزيد من الفيروسات. بل أن درجة أعلى من التطفل موجودة في «لاقمات البكتيريا المعتدلة» temperate bacteriophages، وهي فيروسات تتطفل على البكتيريا ولا تسبب لها في الظاهر أذى حق يعاني العائل البكتيري من شيء من الإجهاد. وسوف نصف هذه الفيروسات في هذا الفصل فيا بعد.

وعلى ذلك نستطيع-على الرغم من نقص في المعلومات الثابتة-أن نضع تصورا للكيفية التي ربما تطورت بها أشد جسيمات الحياة بدائية حتى أصبحت ميكروبات اليوم، ثم ابتدأت تطور المجموعتين العظيمتين من أحياء اليابسة. أن القرائن تجعلنا نعزو أهمية فائقة لبكتيريا الكبريت، وبخاصة البكتيريا المختزلة للكبريتات. ولكن قد يكون الأمر كذلك فقط، لأن الحقيقة الوحيدة التي ينبغي أن نعتمد عليها لفهم ما حدث في الماضي هي تجزئ

نظائر الكبريت. وحتى إذا اعتبرنا الغلبة الظاهرية لبكتيريا الكبريت مردها إلى الصدفة يبقى صحيحا أن جو هذا الكوكب تحول منذ نحو خمسمائة مليون سنة مضت من خلال أنشطة الميكروبات، وتهيا المسرح لتطور الكائنات التي تتنفس الهواء والتي نعرفها اليوم. إن الكائنات التي تتنفس الهواء قد ورثت الأرض، ولكن درن لا مقاومة. حتى حالات الكوارث من التلوث الطبيعي التي تحدث اليوم مثلا في خليج والفيس Walvis(أنظر الفصل السابع) يمكن اعتبارها محاولات مجنونة من قبل بكتيريا الكبريت لاستعادة سيطرتها الماضية. ومن دواعي السعادة أن هذه الانفجارات عابرة. والشيء المدهش هو أن البكتيريا المسئولة تنجح إلى حد كبير في البقاء حية في بيئات قد تكون مهلكة لها. أن بقاء البكتيريا المختزلة للكبريتات مثلا خلال أزمنة جيولوجية قد استند-دون ريب-إلى حقيقة أنها تنمو على أفضل وجه في بيئة قاتلة لأغلب كائنات اليوم. أما الأنماط المتطورة الناجحة-فلا تنشئ صفات تناسبها في بيئتها فحسب وإنما تعدل البيئة أيضا حق تناسبها.

قد يتصور القارئ أن هذا يصدق على الإنسان كما يصدق عل الميكروبات. فهل يعتبر الإنسان نوعا ناجحا.

لقد تحدثنا كثيرا في هذا الكتاب عن اختلاف الميكروبات وقدرتها على التكيف. ولقد أشرنا أيضا إلى التطفر، وآن الأوان لنذكر شيئا عن كيفية ظهور هذه الاختلافات.

قل من قراء العلم المبسط من لا يدرك الأهمية الفائقة لمادة ح د ن D N A في الوراثة. و «ح د ن» هي اختصار فني «لحمض دي أُكسي ريبو نيكلييك» deoxyribonucleic acid وهو مادة كيماوية توجد في جميع الكائنات الحية وتعمل كشفرة لما سوف تكون عليه صفات الكائن (ولا توجد هذه المادة في بعض الفيروسات البكترية التي تسمى فيروسات ح رن [9] RNA). ويبدو أنها غير موجودة في الجسيمات تحت الفيروسات Subviral particles مثل عامل سكريبي Scrapie الذي سبق ذكره في الفصل الثاني. ولكن حالة هذه العوامل باعتبارها أحياء ما زالت غير مؤكدة. [10] ولقد أصبح التركيب الجزيئي الدقيق لـ (ح د ن) وترتيبه الفراغي معروفا اليوم بالتفصيل الكبير. ويتكون هذا الحمض من جزيئات مرتبة على نحو خاص تسمى «البيورينات والبيريميدينات» Purines and Pyrimidines، ويوجد منها أربعة أنواع في ح د ن

ترتبط معا بجزيئات من سكر (يسمى دي اكسي ريبوز deoxyribose) ومجموعات من الفوسفات. ويختلف تركيبها وترتيبها من نوع إلى نوع بحيث يوجد من أنواع D N A المختلفة بقدر عدد الأنواع من الكائنات. ويختلف بعضها اختلافا شاسعا كما يختلف البعض اختلافا بسيطا. وجزيئات ح د ن تنظيمات طويلة جدا من هذه المكونات المختلفة القليلة في شكل أشبه باللولب (ويسمى فنيا helix) وتكمن الفوارق بين الجزيئات في طريقة تنظيم المكونات لا في طبيعة تركيبها. والجزيء أشبه ما يكون بنوع من شريط الشفرة له أربعة رموز (ممثلة بالبيورينات والبيريميدينات) تحدد أي الإنزيمات سوف يتكون منها الكائن الحي، كما تحدد كمياتها ونوعية وكمية مكونات تركيبة أخرى في الخلية. ولكل نوع حي شريطه الخاص الذي يحدد ما سوف يكون عليه. والواقع أن كل خلية في الكائنات متعددة الخلايا تحمل هذا الشريط. ويكون نفس الشريط من ح د ن ممثلا مرتين في جميع الخلايا ما عدا في الخلايا الجنسية.

ولقد شغلت طبيعة ح د ن وطريقة تكاثره والأسلوب الذي يؤثر به في طبيعة الكائنات الحية البيولوجيين بل وتسلطت عليهم أحيانا منذ أوائل الخمسينات. وكان المعروف في الأربعينات أن ح د ن صورة كيماوية لوحدات اعتبارية تسمى الناسلات genes التي تحمل الصفات الوراثية من جيل إلى جيل. لقد توفر الإنسان على دراسة الوراثة منذ أبحاث مندل [11] Mendel في القرن التاسع عشر، ولكن هذه الدراسة اكتسبت دفعا هائلا من التجارب الأمريكية على الوراثة في ميكروب هو عفن الخبز المسمى نيوروسبورا Neurospora. فقد تم الحصول على سلالات طافرة من النيوروسبورا بعد معالجتها بالأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس وكيماويات معينة إذ فقدت الطافرات بعض قدراتها الكيماوية الحيوية، فصارت مثلا عاجزة عن تخليق بعض الفيتامينات. وتمت دراسة منظمة لذرية مثل هذه الطافرات وتهجينها جنسيا ثم ظهر المفهوم القائل بان كل ناسلة genes مسئولة عن إنتاج أنزيم واحد. وكان الاكتشاف بان البكتيريا تصنع سلالات طافرة من نوع مشابه في ظروف مشابهة سبيلا إلى تنشيط فترة موفقة للغاية من أبحاث الوراثة في الميكروبات، وكان من نتيجتها توضيح المسالك الكيماوية التي تنتج من خلالها جميع المكونات المختلفة الداخلة في تركيب خلايا الميكروبات. وإذا

كانت الكيمياء الحيوية في العقدين من السنين قبل الحرب العالمية الثانية قد اهتمت إلى حد كبير بهدم المنتجات الطبيعية، فأنها اهتمت خلال الحرب والعقود الأولى من السنين بعدها بتخليق المنتجات الطبيعية. وكانت الميكروبات-البكتيريا والعفن-هي مادة البحوث الغالبة في مثل هذه الدراسات. ولما وضحت المسالك في عمليات الأيض-أو صارت واضحة إلى حد معقول- واحدة تلو الأخرى بدأ الاهتمام يتجه نحو كيفية التحكم في هذه التخليقات، ونحو ماهية الآلية mechanism التي «تتبئ» الخلية بما ينبغي أن تخلقه وكمية ما يخلق. ولقد أصبحت الآن الأهمية الأساسية لـ ح د ن في هذه العمليات واضحة. فقد كان ح د ن هو «الشريط» الحامل لجميع المعلومات الوراثية المتاحة للخلية. وكان نوع من الرسائل ينتقل من شريط ح د ن إلى تلك المراكز في الخلية (الريبوزومات ribosomes) القادرة على تخليق مواد الخلية. وقد ظل الكثير من المعلومات على الشريط وراء حجاب، حيث لم يبعث برسائل حتى أزال الحجاب منبه ذو طبيعة كيماوية، فسمح بانطلاق الرسائل المناسبة وحفز إلى تخليق شئ جديد. أما وسيلة نقل الرسائل وقراءتها فهي تتعلق بمادة تسمى حمض الريبو نيكلييك ح ر ن ribonucleic acid R N A، وهي مشابهة في تركيبها العام لـ ح د ن، ولكنها تختلف في تفصيلات هامة. وقد عرفت عمليات للترجيع الداخلي، feedback في مسالك التخليق synthetic pathways، حيث تؤدى المنتجات الناشئة عن تتابع تفاعلات كيماوية معينة إلى إبطاء الخطوات الأولى منها وحتى إيقافها. وهي بهذه الطريقة تضمن ألا يصنع الكائن قدرا زائدا عن الحاجة من أية مكونات معينة. بل أن فهمنا لهذه العمليات قد تقدم منذ الستينات إلى مدى أبعد ؛ فاصبح في الإمكان إلى حد ما أن نعقد الصلة بين التركيب الكيماوي المحدد في ح د ن والكيماويات المحددة التي استخدمت في تخليق المواد. فالبروتينات مبنية من الأحماض الأمينية، وأصبحت تركيبات الشفرة Code structures التي تقابل جميع الأحماض الأمينية تقريبا في ح د ن معروفة الآن. فقد فهمنا الآن حروف الهجاء الأساسية في الوراثة بطريقة عامة.

ويستحيل أن ندخل هنا في تفصيلات المعلومات المتقدمة فإنها قد تحتل كتابا كاملا. وربما لاحظ القراء من أصحاب المعرفة العابرة بالموضوع كيف تعمدت أن يكون حديثي عاما. وقد أثبتت الوراثة الميكروبية أنها مفتاح

الفهم في دراسة الوراثة عند أغلب الكائنات الحية، كما أنها أدت في غضون الأربعين عاما الأخيرة إلى تقدم في البيولوجيا يقابل ازدهار الكيمياء الذرية في السنين الأولى من هذا القرن. وكما تبين أن لذرات دالتون Dalton الاعتبارية حقيقة فيزيائية في تلك الأيام الأولى، كذلك أصبح معروفا أن ناسلات مندل ذات حقيقة كيماوية، وصار تركيبها ووظيفتها معروفا إلى حد مدهش. إذن لا نعجب كثيرا أن البيولوجيين المتحمسين قد أطلقوا على الوراثة البيوكيماية اسم «البيولوجيا الجزيئية» Molecular biology تكريما لها (وليس كالعلم الجديد جاذب للمنح المالية للأبحاث)، ومالوا إلى اعتبار أن كل ما يصدق على ميكروب ايشيريشيا كولاي Escherichia coli يصدق أيضا على جميع الكائنات الحية. وللعلماء غرامهم و «موضاتهم». وغرام البيولوجيين الراهن ينصب على البيولوجيا الجزيئية لو جاز للإنسان أن يزكي غرامه على الإطلاق. وعلى كل حال ما زالت في موضوعنا مشكلات بعيدة من الشفرة الوراثية.

لقد انحرفنا عن تطور الميكروبات إلى تطور الميكروبيولوجيين، ويجب أن نعود أدراجنا إلى سبيلنا. تنشأ الطفرة-وهي المسألة التي بدأنا بها مناقشتنا-ببساطة كتغير كيماوي في ح د ن الخاص بالكائن الحي. وإذا تعرض الميكروب مثلا لأشعة اكس أو الأشعة فوق البنفسجية أو بعض الكيماويات فان ح د ن يتعرض للتلف. وقد يستطيع الميكروب أن يصلح هذا التلف، وهو في هذه الحالة يقدر على التكاثر دون تغيير. وقد يعجز عن الإصلاح، وعندها يصبح بعض الشفرة على «شريط» ح د ن لغوا. فإذا كان اللغو بالغا عجز الميكروب عن التكاثر ومات. أما أن كان تلفا متواضعا فقد يستطيع الميكروب أن يتكاثر ولكن مع تغير في صفاته الوراثية. ويكون قد تعرض للطفرة وتصبح ذريته من الطافرات mutants. وقد كانت قيمة الميكروبات للعلماء تكمن في العدد الهائل من الطافرات المختلفة التي يمكن للإنسان أن يكتشفها لكل ميكروب، وفي إمكان دراسة هذه الطفرات بسهولة نسبيا.

وتمثل عمليات التطفر إحدى الطرق التي يمكن للميكروبات أن تتغير من. خلالها وبذلك تكيف نفسها مع بيئة متغيرة. كما أن كشف الحجاب عن المعلومات المخبأة على شرائط ح د ن الخاصة بها طريقة أخرى للتغير. كما

اكتشفت عملية ثالثة من دراسة الطافرات وتعرف بإعادة الاتحاد recombination. فلو أن طافرات من ميكروب تحتاج إلى فيتامين (س) دفعت إلى التطفر مرتين أخريين فأننا نستطيع الحصول على سلالة تحتاج مثلا إلى فيتامينات س و ص و ع. ولو أن الإنسان أخذ طفرة مختلفة من نفس الميكروب تحتاج إلى فيتامينات مختلفة (أ و ب و ج) واستنبتها (الطافرات الأولى والثانية) جميعا في مزرعة واحدة فسوف نجد أن بعض الذرية تحتاج إلى فيتامينات س وب أو س وا أو ص و ج وهلم جرا. ومن الواضح أنه قد حدث بعض الانتقال للمادة الوراثية بين الأفراد من نوع ا ب ج من ناحية والأفراد من نوع س ص ع من ناحية أخرى. والمعروف اليوم أن هذه العملية التي تسمى إعادة الاتحاد تحدث، نتيجة للتزاوج بين الأفراد في جماعات الميكروبات، وقد شوهدت في صور المجهر الإلكتروني. والتزاوج نادر الحدوث نوعا في أغلب البكتيريا، ولكن بعض السلالات من بكتيريا الأمعاء تتميز بنسبة مرتفعة من إعادة الاتحاد(وتسمى سلالات ن م إ. hfr)[12] ويبدو أن العملية نمط بدائي جدا من التكاثر الجنسي Sexuality. وقد تمثل بداية التطور نحو هذا النوع من التكاثر في الكائنات العليا. ولكن التكاثر الجنسي في البكتيريا bacterial sexuality له العديد من الصفات العجيبة ليس آخرها حقيقة أن ممارسة التزاوج يعطي صفة «الذكورة» للخلية «المؤنثة» أو المستقبلة. ويبدو أن عامل الوراثة المسئول عن «الذكورة» متميز عن بقية المادة الوراثية إلا في سلالات «ن م ا» «hfy>»، وهو مع ذلك يتكون من ح د ن. وله في الحقيقة خصائص عديدة مشتركة مع أحد لاقمات البكتيريا المعتدلة. (وسوف نتعرض لها بتفصيل اكثر فيما بعد). وتملك سلالات «ن م إ»-وهي أنشط السلالات جنسيا-مثل هذا العامل ولكنه محتوى داخل بقية المادة الوراثية في الصبِّغى (الكروموسوم). [13] أن هذه الحقائق تنتهي بنا إلى تخمين طريف حول تطور التكاثر الجنسي: فإذا كان التكاثر الجنسي في البكتيريا قد نشا كآلية لنقل فيروس بكتيري فهل نشا التكاثر الجنسي في الكائنات العليا من أصل مشابه ؟ وهل هي آلية (ميكانيزما) هابطة degenerate mechanism لنقل ما كان في السابق طفيلا بالمفهوم التطوري ؟ [14].

وهناك طريقة أخرى لتغير الميكروبات تسمى التحول transformation.

فلو أضفنا ح د ن في البكتيريا من نوع س مثلا إلى مزرعة للبكتيريا من نوع ص فان نسبة من تلك البكتيريا في مزرعة ص يمكن أن تمتص بعض ح د ن من نوع س وتأخذ صفات مشابهة لنوع س. ولهذه العملية أهمية تفوق الملاحظة الأكاديمية ؛ ذلك بان هناك دليلا على أن مقاومة العقاقير يمكن أن تنتقل بين الميكروبات بهذه الطريقة في الطبيعة، وربما كان السبب أن بعض الميكروبات تموت وتتحلل وتطلق ما فيها من D N Aفي محيط الميكروبات المتلقية له، ولعلها تتلقاه بالمزاوجة على النحو الذي ناقشناه، ولكنها تنتهي إلى نقل العوامل المتعلقة بمقاومة العقاقير. ومن الحالات العملية التي تنذر بالخطر مقاومة المضادات الحيوية بين البكتيريا من نوع سالمونيلا في الأبقار. فإذا أعدينا العجول ببعض الميكروبات المقاومة للمضادات الحيوية أمكن انتقال هذه المقاومة إلى بعض الميكروبات الطبيعية فيها دون أن تكون قد تعرضت أبدا من قبل للمضاد الحيوي نفسه.

وهناك أخرا عملية تسمى التواصل transduction يمكن أن تؤدي إلى التغير بين الميكروبات. وتتعلق بمشاركة فيروسات البكتريا أو لاقمات البكتيريا bacteriophages. وكثير من لاقمات البكتيريا تقتل عوائلها، لكن بعضها وتسمى اللاقمات المعتدلة لا تفعل. ويبدو أنها تعيش في سلام داخل عوائلها، وإنما تتكاثر وتحطم هذه العوائل تحت تأثير بعض المؤثرات الخارجية فقط (كالأشعة فوق البنفسجية مثلا). وعندئذ تستطيع أن تعدى من جديد عوائل جديدة. وهي حين تفعل ذلك قد تحمل بعض الصفات الوراثية من عائلها السابق إلى عائلها الجديد.

واللاقمات المعتدلة-التي شرحناها الآن-طفيليات صارمة التطفل، وهي توجد خافية، في العوامل الطبيعية السليمة. وربما كانت لها أهمية فائقة في التطور حيث أنها تستطيع إدخال صفات وراثية جديدة في العوائل. كما أن قدرتها على تواصل الخصائص الوراثية توحي بان التطور ربما كان عملية تراكمية accretory process، أي أن ارتباط كائنين متميزين يمكن أن يتطور إلى حد أن يصبح الاثنان واحدا : نوعا فردا جديدا ذا صفات وراثية مشتقة من أبويه معا. ويظن بعض الثقات أن جهاز التمثيل الضوئي في بروتوزوا معينة-والذي يسمى الكلوروبلاست فيها-قد يكون أثرا ضامرا لما كان في الماضي طحلبا متكافلا Symbiotic alga مع الخلية الحيوانية. إن

أغلب الظن أن الحيوان الأولي Protozoom المسمى كرايثيديا أونكوبلتي Crithidia oncopelti (الذي صادفناه في الفصل الخامس) يحتوي في جبلته (البروتوبلازم Protoplasm)-على بكتيريا متكافلة تساعد على تغذيته. أنها خطوة منطقية بسيطة بين مثل هذا التكافل لدى الميكروبات وبين التجمعات التي يصبح فيها أحد المتكافلين جزءا من جهاز الوراثة في زميله. ومن الطريف أن نتصور قدر النسبة من أجهزة الصبغيات المعقدة في النباتات والحيوانات العليا chromosomal apparatus التي نشأت من التمثيل الكلي على هذا النحو. إن التصور يفتح آفاقا من تعديل المادة الوراثية في المستقبل-حتى تلك المادة الموجودة في الإنسان-بوساطة التدخل عمدا. (15) وقد سبق استخدام البكتيريا القابلة للتحول كعوائل لفيروسات الحيوانات.

وتستطيع الميكروبات-ولها القدرة على التطفر كما شرحنا-أن تكيف نفسها أمام ظروف طبيعية واسعة الاختلاف-ناقشناها في الفصل الثاني-وهذا أحد الأسباب في نجاح بقائها خلال الزمن الجيولوجي. أن الميكروبات تزودنا بدليل على القدرات الداخلية المتعددة في الكائنات الحية. وإذا كان اغلب سكان هذا الكوكب من الكائنات التي تتنفس الأكسجين وتعيش في بيئة معتدلة، فذاك مجرد شذوذ في التطور. فوجود البكتيريا اللاهوائية-مثل البكتيريا المختزلة للكبريتات والنترات-يوضح أن الأكسجين ليس مطلبا مسبقا للحياة ولا للتطور. إن مياه هذا الكوكب متعادلة تقريبا فهي ليست حمضية ولا قلوية، ولكن وجود ثيوباسلس thiobacilli، وما يعيش معها في بيئة تتحمل الحموضة ينبئنا بان الحياة ربما نشأت وتطورت في كوكب أشد حموضة بكثير. ووفرة المياه هنا تجعلها أما عذبة أو قليلة الملوحة، ولكن وجود الميكروبات المحبة للملوحة halophiles تدلنا على قدرة الكائنات الحية على التحمل لو أن المياه كانت قد شحت وصارت البحار والبحيرات القليلة نتيجة لذلك ملحا أجاجا. أما الميكروبات المحبة للضغط barophiles فتدلنا على أن الضغط العالي ما كان ليمثل عقبة أمام الميكروبات. كما تشير الميكروبات محبة البرودة Psychrophiles إلى أن حرارة قريبة من التجمد على الدوام كانت أيضا مقبولة أيضا لدى الميكروبات. ويدل تكوين الجراثيم عل أن الحياة استطاعت التكيف مع فترات من الحرارة والجفاف العظيمين، كما تملك هذه القدرة بعض النباتات الصحراوية. وكذلك تدلنا الميكروبات

المحبة للحرارة thermophiles، على أن الحياة ربما تكون قد نشأت في درجات من الحرارة تبلغ 90 درجة مئوية. وحتى هنا يجب أن نتحفظ على أن هذا الحد تقرره نقطة غليان الماء في متنزه يلوستون Yellowstone في الولايات المتحدة الأميركية. (196 والماء يغلي عند درجات حرارة أعلى بكثير حين يكون تحت الضغط العالي، وقد أمكنت زراعة الميكروبات في مثل هذه الظروف. ويبدو أن ليس هناك حد أعلى للحرارة التي تتحملها الحياة الأرضية شريطة وجود المياه السائلة.

إذن فالنباتات والحيوانات العادية على الأرض لا تمثل اليوم إلا جانبا محدودا فقط من الكيمياء الحيوية التي تقدر عليها الحياة الأرضية بطبيعتها: ذلك بان الكيمياء الحيوية الشائعة لدينا أصبحت سائدة منذ خمسمائة مليون سنة خلت. ولا نجد أشباها لما يحتمل أنه كان موجودا إلا بين الميكروبات فقط. ولكن المسالة تحفز الإنسان على التفكير. كيف كان للحياة القائمة على الكربون أن تقوم في مكان آخر من الكون ؟ وهل سنجد ميكروبات محبة للملوحة والبرودة halophilic psychrophiles على المناطق اليباب الباردة في المريخ ؟ أم نجد الميكروبات المحبة للحرارة thermophiles والمثبتة لثاني أكسيد الكربون على الزهرة ؟ ولو ظل السفر بين الكواكب متعذرا على الجنس البشري إلى الأبد كما يحملنا على هذا الاعتقاد النسبيون، فهل نأمل يوما على الرغم من ذلك في استقبال صور تليفزيونية لما يشابه الجنس البشري من الكائنات المختزلة للكبريتات في بيئتها اللاهوائية في منظومة شمسية بعيدة ؟ لقد افتتحت هذا الفصل بالتحذير من أن كثيرا مما سوف اكتبه يحمل طابع التخمين. وربما وجب في الآن أن أضع حدا لهذا التحسن من خلال افتتاح فصل جديد.

11 الميكروبات في المستقبل

نستطيع أن نؤكد قولا مثل ما نؤكد سائر ما ذكرنا في هذا الكتاب ؛ ذلك أن للميكروبات مستقبلا على هذا الكوكب، إلا إذا حدثت كارثة كونية كان تبرد الشمس ويخبو ضوءها. إن هذا القول لا يمكن أن يقال عن كثير من الحيوانات، بما فيها الجنس البشري. فنحن نعرف مثلا أن أيام الحوت العنبر sperm whale قد أصبحت معدودة. ولا يحتمل نجاح المحاولات المنظمة التي تبذل لتحديد صيده ما دام سكان العالم كله ظامئين إلى منتجات الحوت الزيتية. وكذلك نجد أن وحيد القرن rhinoceros وطائر البنغول Pangolin والعقاب (osprey)[1] ومائة وخمسين حيوانا وطائرا على الأقل ينتظر اختفاؤها من هذا الكوكب إلا إذا تم حفظها بنجاح في حدائق الحيوانات أو في مستودعات للتفرج. كما تعاني النباتات أيضا ؛ فقد أحالت الماعز الأليفة ساحل أفريقية الشمالي إلى صحراء بعد دخولها مع المسلمين في القرن الثاني عشر، وكان من قبل منطقة زراعية خصبة تنتج الأعناب والزيتون. [2].

بل إن مستقبل الجنس البشري مشكوك فيه. ومن الواضح لأغلب المتحضرين في عصرنا الآن أن للأسلحة الذرية قوى تدميرية عالمية لم يستطع

حتى كتاب الخيال العلمي خلال الأعوام الثلاثين المنصرمة أن يتخيلوا مداها. أن على العسكريين أن يأخذوا في اعتبارهم بجدية صارمة مدى التخريب وانتشار الإشعاع فوق المئات من الأميال المربعة بحيث لا يبقى أي كائن حي مشهود. ولا يخرج عن طوق تكنولوجيا الحرب أن تعقم هذا الكوكب عمدا من الحياة النباتية والحيوانية. ومن اليسير نوعا أن نحسب عدد الأسلحة النووية التي نحتاج إلى تفجيرها حتى نبلغ هذا القصد، وقد تم نشر الأرقام.

وبالرغم من هذه الظروف فسوف تعيش الميكروبات. إن ميكروب ميكروكوكس راديو ديورانز مثلا Micrococcus radiodurans شديد المقاومة للإشعاع على نحو مدهش، فهو يتحمل من أشعة جاما مئات أضعاف ما تتحمله الخلايا العادية. والمعروف أن هناك ميكروبات أخرى تتحمل كميات ضخمة من النشاط الإشعاعي. ويبدو أنها قادرة على إصلاح التلف-الذي يسببه الإشعاع-بكفاءة كبيرة ؛ وهو مثل طيب على قدرة الميكروبات على التكيف. وإذا أردنا إنتاج مستوى من الإشعاع يكفي لإزالة مثل هذه الميكروبات من مثل هذا الكوكب لكنا في حاجة إلى عدد من القنابل الذرية لا نكاد نتصوره.

ونحن بالطبع لا يمكن أن نتصور أن يبلغ الجنس البشري في عصرنا هذا الحد من الغباء. وحتى أجهل الزعماء السياسيين وأشدهم جنونا بالعظمة يدركون-فيما يبدو-أن الحرب الذرية تستخدم في التهديد اكثر منه في الممارسة الفعلية. وينبغي مع ذلك أن يتضح شئ واحد أمام جميع الناس من ذوي المذاهب السياسية المختلفة، ذلك أن التهديد بالدمار الذري أن كان قد خفت حدته في الآونة الأخيرة-ولو مؤقتا-فالسبب هو ارتفاع مستوى المعيشة في أحد البلاد التي تملك التهديد العظيم. إن الجنس البشري يشتد حرصه على الحياة كلما زاد لديه ما قد يفقده.

وعندي-وكل ما أقوله في هذا الفصل يمثل وجهة نظري بالطبع-أن سيطرة الجنس البشري على الميكروبات أشد تهديدا لمستقبله نفسه من سيطرته على الذرة. والسبب في هذا لا يتعلق أبدا بالحرب البيولوجية وإمكاناتها، وان كانت مثل هذه الحرب تدعو إلى الاشمئزاز. والسبب ببساطة كما يلي: لقد أطالت المجتمعات المتحضرة أعمار الناس فيها وزادت من إمكانات خصوبتهم من خلال السيطرة على الأمراض وكفاحها، وأنقصت

معدل وفيات الرضع والأطفال.

كما أنها قدمت بحق أيضا مثل هذه المزايا الطبية للدول المتخلفة والنامية. وعلى ذلك أصبح لدينا الانفجار السكاني. وقد ذكر الأستاذ ب. م. هاوزر. P.M.Hauser من جامعة شيكاغو Chicago حسبة بسيطة تبين أن سكان العالم لو استمرت زيادتهم بالمعدل الحالي فسيكون هناك في عام ألفين وستمائة شخص واحد مقابل كل قدم مربع من سطح اليابسة بما في ذلك القطبان والصحاري والجبال. إن هذا النوع من الحساب قد يطيب مسامرة على مائدة القهوة ولكنه لا معنى له بالطبع، لأنه لن يحدث. ولكن المعلومات الخطيرة وراء مثل هذه الحسابات هي أن نصف سكان العالم اليوم يعيشون في مستوى يقارب الجوع. وحتى لو سارت برامج تنظيم النسل اليوم بسهولة فسوف يتضاعف عدد سكان العالم في سنة ألفين ثم يتضاعف مرة أخرى عام ألفين وأربعين حسب تقدير الدكتور ورثنجتون Worthinghton مدير البرنامج البيولوجي الدولي. وبالرغم من أن سكان العالم يتزايدون فان قدرة العالم على إطعام أهله تتزايد ببطء أشد بكثير. وعلى ذلك يهبط مستوى المعيشة، ويقل ما يمكن أن يفقده الناس، ويتزايد احتمال الدمار الذري. فلا بد من تحديد عدد السكان. وإذا لم يحدد الإنسان خصوبته باختياره فسيحقق ذلك بالحرب.

إن هذه الاعتبارات لا تدخل في الحسبان المساوئ الثانوية الإضافية لزيادة السكان مثل الأزمات الاقتصادية وألوان النقص في المواد الخام وتفشي السلوك العصابي والخالي من المنطق والإجرامي بين الناس المتزاحمين في مجتمعات مكدسة. ويجب أن تكون مثل هذه المعلومات معروفة لدى كل إنسان مفكر. وسنعتبر الحرب في موضوع هذا الكتاب حالة متطرفة من السلوك العصابي اللامنطقي الإجرامي، ونشير إلى أن سيطرتنا على الميكروبات في المرض هي التي تبقى التهديد بالانفجار السكاني مسلطا على رقابنا.

وليس الحل-كما قد يظن البعض-في أن نعيد نشر المرض عامدين، وهو نوع من الحرب البيولوجية المنضبطة، ولا هو-أيضا بالطبع-في أن نحرم المجتمعات من مزايا الطب بحجة أفها تتكاثر بسرعة فائقة. وإنما الحل في تحديد النسل، وفي توفير الطعام والبضائع الاستهلاكية. ومن الواضح أن

هذا هو ما يقبله كل إنسان مفكر، اللهم إلا إذا حرمت هذه الفكرة تعاليم دينية أو سياسية. ومعنى ذلك أن هذا الحل يستلزم مزيدا من موانع الحمل، وقدرا أقل من التشدد والتعصب، ومزيدا من الطعام ومنتجات الحضارة، مع قدر أقل من الأسلحة. وليس هذا كله بالأمر الهين. وليغفر لي القارئ أنني لا أستطيع هنا أن أشرح كيف يتسنى تحقيق ذلك كله.

وإذا كانت نظرتنا للمستقبل سوداوية، فقد بررنا لأنفسنا على الأقل الاهتمام بطيبات الحياة. فما هي الطيبات المرجوة من الميكروبات، أو بالأحرى، ما الذي تدخره لنا الميكروبيولوجيا التطبيقية ؟ إن في الإمكان اكتشاف مضادات حيوية أنجع، ورغم أن البنسلين-كما رأينا من قبل-أول ما اكتشف منها فما زال أفضلها، كلما كان استعماله ممكنا. وقد سبق أن ناقشنا المشكلات الناجمة عن السلالات المقاومة. ونحن عل قدر معقول من الثقة بان مزيدا من السلالات المقاومة للمضادات الحيوية سوف يظهر، ولكنا واثقون من السيطرة عليها باكتشاف مضادات حيوية جديدة أو خلال التعديل الهادف في تركيب الموجود منها فعلا. ويحتمل بصفة عامة أن تظهر أنماط جديدة من المرض بعد استئصال الميكروبات المرضية الموجودة، والواقع أننا نستطيع بالفعل أن نرى ذلك يحدث الآن. فالأمراض البكتيرية ليست لها اليوم أهمية تذكر في المجتمعات المتحضرة، وإنما الأمراض المزعجة هي التي نسببها الفيروسات. وأحد أقسام الأمراض المصنفة تحت التسمية العامة «السرطان»، ليس له أصل ميكروبي واضح (سوى نوع أو نوعين ينشأن بقينا من الفيروسات). ورغما عن ذلك فإن طريقة نشأة المرض لها مشابهات مع نتائج بعض الأنواع من العدوى الفيروسية. كما أن الأسباب التي تدعو إلى تراجع المرض في بعض الأحيان تتعلق إلى حد كبير-فيما يبدو-بالموضوع العام للمناعة وتكوين الأجسام المضادة. وعل ذلك فلعل زيادة معرفتنا بالعدوى الفيروسية والعمليات المتعلقة بالمناعة-وكلاهما في الأصل موضوعات ميكروبيولوجية-تؤدي إلى أحسن ألوان التقدم الطبي من الناحية العملية.

لقد رأينا في الفصل السادس أن استخدام الميكروبات في إنتاج الكيماويات الثقيلة مثل الكحول والمذيبات الصناعية قد عفا عليه الزمن. ويمكن استخدام الميكروبات-بصفة عامة كما لاحظنا-من الناحية الاقتصادية

فقط في إنتاج الكيماويات التي يشق تخليقها كيماويا على نطاق تجاري. ولكن دور الميكروبات في صناعة مثل تلك المواد سوف يعظم بالتأكيد. وقد جاء في الفصل السادس استخدامها في إنتاج الاستيرويدات حيث يستعمل رجل الصناعة الكيماوي الميكروبات كعوامل مساعدة كيماوية. وهناك مسحة من العدالة إذ إن موانع الحمل العامة عبارة عن استيرويدات Steroids، ولقد أدت مكافحة الميكروبات في الطب إلى حاجة اجتماعية ملحة لتطوير موانع الحمل العامة، ولعل في الإمكان أن تساعد الميكروبات في صناعة هذه الموانع.

إن أعقد خليط كيماوي يحتاج إليه الإنسان هو الطعام. وأعتقد أن الطعام سيظل قرونا عديدة خارج ميدان رجل الكيمياء التخليقية Synthetic chemistry. ولا ريب أن صناعة التخليل البسيطة أو عمليات التخمر باستخدام الميكروبات ستتطور في المستقبل، ولكن الأهمية الرئيسة للميكروبات التي يمكن أن يتنبأ بها الإنسان هي تناولها بعينها كطعام. وقد أشرنا إلى هذه المسألة في ختام الفصل الخامس، ذلك بان محصولا من الميكروبات مثل الكلوريلا chlorella سوف لا يكون معتمدا على الجو، وهو كذلك يتطلب مساحة أقل بكثير من الزراعة التقليدية (أن الزراعة في مساحة 26 ياردة مربعة تهيئ الاحتياجات البروتينية لعائلة من خمسة أو ستة أفراد إذا أخذنا إنتاج التجارب الاسترشادية معيارا في الموضوع). وأغلب الظن أن خميرة الطعام، والطعام البكتيري من الميثان سوف يستغلان، ومن ثم سوف يجعلان النفايات صالحة للأكل ومغذية. وقد أعلن حديثا في الولايات المتحدة عن عملية لاستزراع الفطر mushroom على مخلفات اللحوم (ومن الواضح أن ثلاثة أرباع المخلفات في المسالخ الحديثة يلقى. بها). وللناتج قوام كاللحم، وفيه كل الفيتامينات والبروتينات اللازمة ويمكن فرمه وصناعة الهمبورجر منه، . طعمه-فوق هذا كله-طيب. أن مسالة الطعم والاستساغة هامة للغاية في هذا النوع من البحث. فلا جدوى من إنتاج الأطعمة المغذية إذا هي أثارت اشمئزاز الناس. والواقع أن طرق تعديل المذاق وتقوية الأطعمة قد بلغت حدا من التقدم الآن بحيث أصبحت المشكلة الحقيقية هي أن نضمن استخدام هذه الإمكانات بتعقل في سبيل تحسين نوع الطعام وكميته لا في سبيل غش الزبائن كما حدث كثيرا في الماضي.

أما أننا سوف نغير عادات أكلنا حتى نتمشى مع هذه التطورات فأمر لا نقاش فيه. لقد كانت خلاصة الخميرة جزءا من طعامي اليومي وطعام عائلتي منذ كنت صبيا. كانت موجودة يوميا على مائدة الإفطار مع المربي ونحوها. ويصدق هذا على ملايين العائلات الإنجليزية. وقد كان تناول خلاصة الخميرة قبل ثلاثين عاما[3] عادة شاذة عند النباتيين والمغرمين بألوان خاصة من الطعام، كما لم يسمع بها أحد عند بداية القرن العشرين. ولاشك أن فطائر الكلوريلا وهمبورجر الميثان ستكون يوما وجبة شهية يقبل عليها الإنسان: وقد يأتي على الإنسان حين من الدهر يعيد فيه مزاج شرابه الخالص شاتولاتور Chateau latour وهو نوع من النبيذ الجيد، وأنتجت أفضل أنواعه 1937. ثم يعجب من عادات أسلافه البربرية الذين ربوا حيوانات كبيرة ثم قتلوها وأكلوا لحومها.

وربما كان ظهور عقاقير الأمراض النفسية psychomimetic أهم تطور في الصيدلة خلال السنين الأخيرة، وهو تطور يوشك المجتمع أن يشرع في تقبله. وهذه العقاقير هي المهدئات tranquilizers ومضادات الاكتئاب antri-depressants. وعقاقير الهلوسة hallucinogenic التي أحدثت ثورة في مزاولة الطب النفسي. وقد قيل أن ثلث السكان في المجتمع المتحضر مصابون بالعصاب [4]. إن مثل هذه التعبيرات تعتمد على تقدير المتحدث لمدى الشذوذ في تصرفات جيرانه قبل أن يسمهم بالعصاب (وهو نادرا ما ينظر لنفسه)، ولكن لهذه التعبيرات مضمونا. وحالما تبلغ حياة الإنسان قدرا كافيا من الراحة يتيح له أن يتدبر هذا السؤال يدرك انه مخبول معقد لا منطقي في العديد من استجاباته، وأن تلك الاستجابات تزداد سوءا كلما ازدادت حياته اليومية تعقيدا وإجهادا وزحاما (ودعونا نكون واضحين، ذلك بان البرابرة النبلاء والبدو الذين يخلون من الهموم والفلاحين الأشداء وأمثالهم يتعرضون على قدم المساواة للعصاب والقلق والأفكار التسلطية. وإنما اتفق أنها لا تظهر من طريقة حياتهم) وليست هذه الاضطرابات جديدة، ولا هي إفراز للحضارة الحديثة، فقد ظلت جزءا من الحياة اليومية قرونا، وقد كان التقدم الرئيس الذي حدث في العقود القليلة الماضية من السنين هو التعرف عليها وعلاجها. وقد يضحك الإنسان على موضوع أحد الخوارج عند المجتمع في سان فرنسيسكو يجرب مشتقات حمض الليثارجيك Lysergic

التي تباع في السوق كي يشحذ من إدراكه الحسي والجمالي، ولكنه بطريقة عامة يشير إلى السبيل الذي يضطر الجنس البشري إلى السيرفيه. إن الناس-من الناحية العقلية-يعيشون ولديهم ميراث من الأفعال المنعكسة reflexes حملوها من أزمنة متطاولة من الوحشية كالعدوان والفزع والثرثرة انتهت بهم إلى الحروب والمظاهرات العنصرية والقسوة على الأطفال والجريمة والهوس الديني وجميع الشرور الأخرى. وقد يدرك الإنسان في لحظة عابرة لا منطقية هذه الاستجابات، ولكنها بصفة عامة تظل خارج سيطرته الفردية. ولأول مرة تنتج الصيدلة عقاقير تمكن الإنسان من الانعزال عن همومه ثم التفكير فيها وحتى السيطرة عليها. إن بعض هذه العقاقير على الأقل لها أصل ميكروبي باعتبارها مشتقة من الفطريات. ولعل العمليات الميكروبيولوجية سوف تتصل بصناعة الأنواع المقبولة من العقاقير كلما ازددنا فهما لتركيبها وعملها. وقد أزاحت العقاقير المهدئة-في أبسط مستوى عن كاهل الملايين من الناس المكافحين أعباء من الشقاء لا لزوم لها البتة- وإذا استطاع الإنسان أن يتعاطى مثل هذه المواد بغير إساءة استخدامها من أجل تحسين مستوى وضعه الاجتماعي وسلوكه، إذن لأسهمت الميكروبات إسهاما متساميا في الأحوال الإنسانية.

لقد قلت: دون إساءة الاستعمال. إذ اقترح البعض استخدام مشتقات حمض الليثرجيك Lysergic أسلحة في الحرب الكيماوية. والقصد أن يصبح العدو من الانقباض والانطواء بحيث لا يمكن حثه على الحرب. وسوف تنجح هذه الأسلحة في ذلك، كما تنتج «عقاقير السلام»-وهي مشتقات من العقاقير المهدئة-التي تجعل العدو أميل إلى السلام منه إلى الحرب. إن مثل هذه الأسلحة سوف تجعل الحرب إنسانية. ولكن الإنسان يخشى الحالة العقلية لدى المنتصرين عند امتلاكهم هذه القوة. ولعل البعض يفضلون عندئذ القنابل الذرية القديمة الطيبة، أو ميكروبا شديد الضراوة في حرب بيولوجية. ولست أبدي رأيا، وإنما أشير فقط إلى أن التقدم العلمي كان دائما عرضة لإساءة الاستعمال.

وإذ نترك التوقعات جانبا، دعونا نرجع إلى الجوانب العادية في اقتصاد هذا الكوكب. إن البكتيريا المثبتة للنتروجين تأتى بقدر من النتروجين يتراوح بين خمسين رطلا ومائتي رطل إلى كل هكتار من التربة، وهذا لا يقارب

الكفاية اليوم. ويعتمد سدس العالم الآن في غذائه على المخصبات الصناعية. ويستطيع الإنسان أن يتنبأ بيوم يبلغ السكان فيه من الكثرة حدا يدعو إلى توجيه كل إمكانات الشحن البحري نحو نقل المخصبات في نحو سنة ألفين حسب بعض الإحصاءات التي اطلعت عليها. ومن نتائج استخدام هذه المخصبات الصناعية أن عناصر غذائية أخرى غير النتروجين تتناقص في بعض أنواع التربة. إذ كانت التربة الفقيرة في الكبريت نادرة في أول الستينات، وكانت الأمثلة الوحيدة التي أعرفها في شرق أفريقية. ثم تم اكتشاف النقص في آخر عام 1965 في استراليا وأوروبا الغربية والهند وسيلان وأمريكا الشمالية والجنوبية وغرب أفريقية وشرقها. كما تم اكتشاف النقص في الكوبالت والنحاس في مناطق أخرى. وكانت التربة الفقيرة في الفوسفات معروفة منذ سنوات. أن التربة في المناطق الاستوائية وتحت الاستوائية والمعروفة باسم تربة اللاتريت laterites فقيرة في العناصر المعدنية إلى حد مدهش لأن الأمطار الاستوائية تغسلها بانتظام. إن نقائص أخرى في تركيب التربة المحلية تنكشف حين يتعلم الجنس البشري إضافة النتروجين إلى التربة.

وبالرغم من إمكان علاج هذه النقائص بالكيماويات وبخاصة في المجتمعات المتقدمة فليس من اليسير أن نعرف كيفية إنجاز ذلك على مستوى العالم اجمع. إن السفانا في المناطق تحت الاستوائية مثلا منطقة توشك ألا تكون منتجة بالمرة.

تقريبا من ناحية الطعام الإنساني، وان كانت دافئة رطبة تتلقى كثيرا من أشعة الشمس. كما أن الوسائل الآلية المحضة لجعل مثل هذه المناطق منتجة بالطرق الكيماوية لا تدعو إلى التفاؤل. والأرجح كثيرا أن يظهر الحل من فهم الميكروبات المسئولة عن دورات النتروجين والكبريت والفسفور في هذه التربة. ويبدو لي أن الإسهام الواضح الذي ينبغي على الميكروبيولوجيا التطبيقية أن تقدمه في اقتصاد هذا الكوكب، إنما يكمن في فهم الميكروبات في الزراعة والسيطرة عليها بالإضافة إلى استخدامها عن قصد في التخلص من المنتجات المعقدة وإعادة تدويرها.

قد تقول: هذا ميدان للتقدم غير جذاب وممل-ربما-ولكن حتى اكثر الأبحاث رومانسية يصبح غير جذاب ومملا في واقعيته اليومية. ومع كل،

دعونا نستغرق في روما نسيتنا وننظر خارج هذا الكوكب، فماذا عن الميكروبات في عصر الفضاء ؟

إن أحد الاعتبارات يظهر على الفور. فان يذهب الإنسان إلى الفضاء تذهب كذلك الميكروبات. فأنت لا تستطيع أن تخلي الإنسان من الميكروبات. وحتى إذا استطعت ذلك، فاغلب الظن أن هذا الإنسان سيموت بسبب أنواع غامضة من سوء التغذية، كما رأينا في الفصل الخامس. وأيما شيء يتداوله الإنسان بل أيما شيء يخرج من الغلاف الحيوي فهو ملوث بالميكروبات. ولهذا السبب ظلت وكالات الفضاء الروسية والأمريكية كلها تعاني الأمرين في تعقيم المعدات التي تطلقها خارج جو هذا الكوكب. لكن مركبة فضائية سبق أن تحطمت على كوكب الزهرة في حادثة، وأصبح التساؤل: «هل كان تعقيمها كاملا ؟ شغلا شاغلا للميكروبيولوجيين. إنها لمأساة لو أن القمر والكواكب القريبة منا صارت ملوثة بالميكروبات الأرضية قبل أن يتم تقويم صحيح للأحوال البيولوجية الكائنة هناك. ذلك بان الميكروبات الأرضية سوف تكتسح الظروف البيولوجية القائمة. ومن الجلي أنها سوف تستأصل الكائنات القائمة هناك قبل أن يتقدم السفر في الفضاء بقدر يسمح باكتشاف الحياة خارج كوكبنا. وعندئذ لن يطمئن الإنسان أبدا إلى أن الميكروبات التي وجدها لم تكن هبطت مع القمر الفضائي الأول أو مركبات الزهرة أو المريخ، ذلك بأننا على يقين من شيء واحد: هو أن أعماق الفضاء الباردة الخالية من الهواء ليست عائقا أمام بقاء الجراثيم البكتيرية حية. وقد يكون الإشعاع في عمق الفضاء قاتلا، فنحن لا ندري، ولكن الجراثيم البكتيرية العادية داخل غلاف المركبة الفضائية لن يشق عليها أن تظل حية أثناء رحلة بين الكواكب شريطة أن تجتاز مرحلة التسخين الأولى التي تحدث عندما يخترق المقذوف جو الأرض.

إن الاحتمال ضئيل للغاية في أن تكون الأرض ظلت منذ نشأة الحياة تنثر في الفضاء كائنات في مثل حجم البكتيريا. أن مجال الجاذبية الأرضية قوى إلى حد يجعل الاحتمال بالغ الضآلة في أن تتمكن جسيمات من كتلة البكتيريا من تحقيق سرعة الإفلات من مجال الجاذبية. وحتى تأثيرات الرياح الجوية شديدة السرعة والانفجارات البركانية لا تحسن كثيرا من هذا الاحتمال. أما الفيروسات-وهي أقل من البكتريا حجما مرة أو مرتين-

في تستطيع أن تبلغ سرعة الإفلات بصورة أيسر نوعا من البكتيريا، والمفروض كذلك أن الطفيليات البكتيرية الدقيقة التي تسمى بديللو فيبريو Bdellovibrio قادرة أيضا. ومع ذلك فليس من المرجح أن مادة حية حقيقية قد هربت من الأرض إلا في مركبات الفضاء في السنوات القليلة الماضية. وعلى ذلك يمكن أن نعتبر أية بيولوجيا خارجية في الكواكب-تظهر عند اكتشاف الفضاء-قد نشأت مستقلة عن الحياة الأرضية. والأرجح أنها فكرة خاطئة تلك القائلة بان سطح القمر مرشوش بجراثيم باسيلس سابتيليس Bacillus subtilis وان كانت الفكرة تبدو جذابة للعلماء المازحين.

هل نستطيع أن نذكر شيئا عن ماهية الكائنات التي يحتمل وجودها خارج الأرض ؟ في استطاعة الإنسان أن يذكر تخمينا أو تخمين مبنيين على معرفة ذلك، إذا سلمنا بان الحياة خارج الأرض لها بعض العلاقة بالحياة الأرضية، وأعني بذلك أنها قائمة على جزيئات الكربون وأنها تنهض بعمليات حياتها في الماء، وأنها تضمن استمرارها من خلال مادة شبيهة بمادة ح د ن. وأول تخمين أن الكواكب والكويكبات البعيدة عن الشمس شديدة البرودة، بحيث يستحيل وجود الماء السائل عليها. ومن ثم يستحيل عليها نمط حياتنا. والتخمين الثاني أن كوكب عطارد شديد الحرارة على أحد جانبيه وشديد البرودة على الجانب الآخر. ويبدو كذلك حسب البيانات من آخر المركبات الفضائية أن كوكب الزهرة شديد الحرارة، وهي معلومات مخيبة للآمال لأن جوه غني بثاني أكسيدالكربون، وغطاءه من السحب يوحي ببيئة مناسبة للميكروبات اللاهوائية التي يمكن أن تكون قد تطورت الآن إلى كائنات أعلى تثير اهتماماتنا. وليس لدينا-بمعلوماتنا الراهنة- سوى القمر والمريخ فقط مسكن محتملة بحق للكائنات.

ومن المحتمل أننا سنجد الميكروبات فوق أي كوكب مسكون إذ إن الاحتمال بعيد في نشأة الأحياء دون مرحلة ميكروبية، كما أن الاحتمال بعيد كذلك في استئصال الميكروبات بعد نشأتها. والقمر جسم جاف بغير غلاف جوي يتعرض سطحه لاصطدام النيازك. والاختلاف الحراري كبير بين وجه القمر المعرض لأشعة الشمس والذي نراه ووجهه الخلفي المظلم . وإذا وجدت المياه السائلة هناك فمن المحتمل أنها قابعة تحت السطح على هيئة محلول مركز من الملح يتحامى درجات الحرارة المتطرفة. وتعتمد الحياة-

كما رأينا في الفصل الأول-على تحول دوري للعناصر البيولوجية، كالنتروجين والكربون والفسفور في دوراتها. وإذا كنا نستطيع أن نتصور بكتيريا مختزلة للكبريتات تتحمل الملح وتعيش تحت سطح القمر في محلول مشبع من كلوريد المغنسيوم مثلا Magnesium chloride فإنها تحتاج إلى مصدر للكربون تستعمله. لكن من العسير أن نتصور دورة للكربون، إذ ما هي العمليات الميكروبية التي يمكن أن يتصورها الإنسان كي تعيد ثاني أكسيد الكربون إلى صورة عضوية ؟ أتكون عملية أكسدة لا هوائية للحديد ؟ جائز-أننا في حاجة إلى معرفة المزيد عن كيمياء القمر للوصول إلى استنتاج نافع، ولكن الهدف الأولى واضح: إذا بحثنا عن الحياة فرق القمر فعلينا أن نحفر ونفتش عن الميكروبات اللاهوائية التي تكون محبة للملوحة ذاتية التغذية الكيماوية halophilic chemotrophic.

والمريخ كوكب أدعى إلى الأمل في وجود حياة عليه كحياتنا. ورغم ا أنه بارد رقيق الجو إلى حد بالغ فقد يبدو أن فيه ماء ولعله يظل سائلا قريبا من محيط المريخ في أغلب السنة المريخية. ويلزم أن تكون ميكروباته لا هوائية ولكن أنواعا أرضية عديدة قد تعيش هناك. فالميكروبات المحبة للبرودة psychrophiles عندئذ تتحمل البرودة كما أن الماء قد يكون ملحا نوعا، فهناك قليل منه، وعلى ذلك يتوقع الإنسان مرة أخرى وجود الميكروبات المحبة الملوحة ولكنها يمكن أن تعيش على السطح فتصلها أشعة الشمس، وعلى ذلك تكون دورة الكربون القائمة على التمثيل الضوئي معقولة. وربما نشأت بكتيريا الحديد اللاهوائية، وقد نتوقع البكتيريا المختزلة للكبريت والبكتيريا المؤكسدة للكبريتيد، ويبدو أن هناك مجالا معقولا على هذا الكوكب لأخلاط عديدة من التغذية الذاتية الكيماوية chemotrophy، والتغذية عن طريق التمثيل الضوئي phototrophy.

وليس هناك إلا دليل واه على تغيرات لونية فصلية على المريخ-كما يعرف كثير من القراء-تنبئ عن حياة شبيهة بالحياة النباتية الأرضية. ولو صحت هذه النظرية فسترتبط هذه الكائنات ببيئة ميكروبية معقدة تماما. ويبدو ممكنا في الواقع أن المريخ كوكب في المراحل الأخيرة من السكنى habitation، أي أن الحياة ازدهرت مرة هناك، ولما ازدادت رقة الجو وشح المياه بقيت أقوى الكائنات. وإذا كان للبيولوجيا الأرضية عندنا أن تدلنا

على شيء فهو أن الميكروبات أقوى الكائنات تحملا، ويبدو أن الغلبة للميكروبات في المراحل الأخيرة من التطور كما في بدايته. ويبدو حقا أن المريخ هو الكوكب الذي يرغب البيولوجي الملتزم في زيارته أشد الرغبة.

وسوف يكون لدى البيولوجي مشكلات مع ميكروباته نفسه مثل تلك الزيارة. كما أن مركبة فضائية فيها بضعة رواد للفضاء وتستغرق رحلة تبلغ عاما إلى المريخ ستكون مجتمعا معزولا من الناحية الطبيعية. وفي مثل هذه المجتمعات يحدث شيء عجيب للميكروبات المتكافلة عند الناس. إذ يتجه أحد الأنواع من الميكروبات إلى السيادة على جميع الكائنات في جسم الإنسان. فإذا اتفق أن كان الميكروب مرضيا أمكن أن يصبح الموقف خطيرا- كذلك تتجه المناعة ضد عدوى الميكروبات العادية نحو الزوال في مثل هذه الأحوال. ويجوز أن يضطر رواد الفضاء إلى الاحتفاظ بمزارع لمختلف الميكروبات التي بدءوا رحلتهم بها. وسوف يحتاجون إلى أعداء أنفسهم بها عن قصد من حين إلى حين. ومن ناحية أخرى سيكون أمام الرواد مشكلات بالغة تختفي بالتخلص من النفايات: أي التخلص من البول والغائط وإزالة ثاني أكسيد الكربون في هواء الزفير وتوليد الأكسجين. وقد اقترح البعض نظاما ميكروبيا يدعو إلى غاية الارتياح في المساعدة على هذه العمليات ويبدو معقولا تماما. إن خلية شمسية على مركبة الفضاء تولد الكهرباء التي يمكن استخدامها في التحليل الكهربي للماء. وعلى ذلك يتكون الأكسجين والأيدروجين اللذان يستخدمان في استنبات بكتيريا هيدر وجينوموناس Hydrogenomonas، وهي ذاتية التغذية الكيميائية chemotrophs تثبت ثاني أكسيد الكربون، بينا تولد الماء من الأكسجين والأيدروجين وبذلك يمكن إزالة ثاني أكسيد الكربون من الجو دون إهدار للماء في النهاية. لكن هذه البكتيريا تتطلب مصدرا للنتروجين وستُشبع البولينا في البول هذه الحاجة بصورة طيبة جدا. وعلى ذلك يمكن أن يزرع الإنسان الميكروبات على البول وثاني أكسيد الكربون. وإذ يألف رائد الفضاء المدرب الفكرة تصبح هذه الأشياء غذاء بروتينيا نافعا. وفي الإمكان أيضا أن تستخدم الكلوريللا chlorll-وهي من الطحالب-في توليد الأكسجين وإنتاج الطعام حيث أن أشعة الشمس متاحة. كما أن تخمر الغائط يؤدي إلى التخلص من الفضلات، وينتج الطعام بمعونة البكتيريا المؤكسدة للميثان. وفي كل هذه

الأمور سوف يتحقق بصورة عجيبة ما ورد في الإنجيل من تهديد ربشاقي (سفر الملوك الثاني الإصحاح 18 آية 27)[5]. ويوشك أن يستحيل عموما حمل الطعام والماء واحتياجات التخلص مع الرواد في رحلات الفضاء الطويلة. ولا بد من إقامة أكوان ميكروبيولوجية صغيرة كي تعيد دورة البيئة الكيماوية التي يعيش فيها رواد الفضاء. وهنا يكون فهم ايكولوجية الميكروبات الأرضية ذا أهمية بالغة.

هل يستطيع الإنسان أن يذكر شيئا عن الحياة خارج المنظومة الشمسية؟ إن بعض علماء الكون يعتقد أنه لا بد من وجود آلاف عديدة من الكواكب المناسبة للحياة الأرضية، حتى في مجرتنا نحن، ومن الجائز نشأة الحياة عليها إن صحت نظرياتنا عن أصل الحياة على الأرض. وكثيرا ما يذكر البعض تقدير الدكتور هـ. شايلي H.Shapley عن وجود مائة ألف من الكواكب التي يمكن أن تكون مأهولة في مجرتنا نحن-طريق اللبن. (Milky Way)[6]. إن الآمال في اكتشاف وزيارة مثل هذه الكواكب تبدو في الواقع بعيدة. ذلك بانا نحتاج إلى رحلات لا تستغرق قرونا فحسب، وإنما تستغرق آلاف السنين، اللهم إلا إذا كانت نظرياتنا عن الكون تجافي الصواب كلية. لكن الاتصال بمثل هذه المنظومات بوساطة الراديو أمر ممكن، حتى لو كان الحوار من جانب واحد. (ويقدر الدكتور ف. د. دريك F.D.Drake أن الكواكب التي تطورت عليها الحياة إلى مستوى يجعلها قادرة على الاتصال عبر الفضاء «بدافع منها» تبعد عنا-فيما يبدو-بألف سنة ضوئية تقريبا في المتوسط- وإذا كان على الإنسان أن ينتظر قرونا عديدة كي يتلقى الإجابة على فاتحة الحديث فسوف يصبح الأخذ والعطاء من الحوار من يوم إلى يوم مفقودا. ومن الواضح أننا نحتاج إلى صنف خاص من النساء لأداء المكالمات..) وإذا كان لا بد من وجود أشباه للميكروبات في مثل هذه المنظومات بغير شك فإن الإتصال سيكون بالضرورة مع كائنات متقدمة الذكاء. وإذا كان نظير الإنسان العاقل Home sapiens من الكائنات المختزلة للكبريتات موضوعا للتخمين يثير الإهتمام فانه سيكون على ذلك ماكروبا macrobe لا ميكروبا، وهو بذلك يخرج عن مجال هذا الكتاب.

ويدور هذا الفصل حول الميكروبات والمستقبل. ويمكن أن يتنبأ الإنسان- كما فعلت-بالمزايا الناشئة في المستقبل من تطوير الميكروبيولوجيا الاقتصادية،

وسيكون هناك ألوان من التقدم، والتخلف في الطب والصحة والسلوك الاجتماعي والسلامة العقلية. ويمكن أن يشير الإنسان إلى دور الميكروبات في استكشاف الفضاء وإنتاج الغذاء، بل يستطيع الإنسان أن يسجل نظاما فخما لإذابة الأغطية الثلجية القطبية من خلال زراعتها بالطحالب الحمراء وبذلك نزيد من امتصاصها لحرارة الشمس (وقد قيل لي إن مثل هذا المشروع قد يؤدي إلى غمر كثير من الأراضي الواطئة في أوروبا بالمياه) ولكن الأهمية الحقيقية للميكروبات-بعد كل ما يحدث ويقال-ستحقق في تقدم المعرفة، وهذا الذي أؤكده بثقة تامة. وقد رأينا في الفصل العاشر كيف نشأت البيولوجيا الجزيئية الحديثة من الميكروبيولوجيا، وكيف اهتز عرش البيولوجيا بعنف في القرن العشرين من دراسة الوراثة الميكروبية. لقد صارت البيولوجيا اليوم أشبه بحالة الجذب ecstacy. والمعارف المشتقة من بكتيريا إيشيريشيا كولاي Escherichia coli تثبت صحتها بالنسبة لشتى الأحياء. ويرى بعض البيولوجيين أن الميكروبيولوجيا قد أدت دورها بالتأكيد، ويعتبرون أن المستقبل يكمن في تطبيق المبادئ التي حققتها الميكروبيولوجيا على خلايا الكائنات العليا. وهو رأي أشبه برأي الكيماويين في أوائل الأربعينات الذين ظنوا أن موضوع الكيمياء غير العضوية قد انتهى لأن كيمياء العناصر صارت فيما كان يبدو معروفة. والحقيقة أن اكتشاف العناصر المتحولة عبر اليورانيوم transuranic، بالإضافة إلى نشأة كيمياء الترابط ligand chemistray، قد أعاد الكيمياء غير العضوية إلى مقدمة التقدم العلمي في الخمسينات والستينات. وكذلك سيكون الشان في الميكروبيولوجيا. وقد بدأت الفكرة في وجود ميكروبات أخرى غير إ. كولاي تتعمق في أذهان البيولوجيين المتخصصين في البيولوجيا الجزيئية الذين لا تستولي عليهم الأفكار التسلطية. ومن المؤكد أننا سنظل نستخدم الميكروبات في زيادة معارفنا بالأحياء، لأن هذه الميكروبات مواد متاحة يمكن إخضاعها للتجارب في المختبرات. وتستخدم الطرق المتبعة في الميكروبيولوجيا أيضا في مجال زراعة الأنسجة. وفي الإمكان تهجين الميكروبات وتحويلها، إذ نستطيع نقل مادة ح د ن من خلية من نوع معين إلى خلية أخرى لا تشبهها، وننتج ما يبدو نوعا جديدا تماما. وقد بحثنا بإيجاز في الفصل العاشر الرأي القائل بان بعض التراكيب المعينة فيا دون الخلية subcellular مثل

الكلوروبلاستات في بعض البروتوزوا، وأجزاء من جهاز الوراثة في البكتيريا، وربما في الكائنات العليا إنما هي آثار تطورية لارتباطات تكافلية[7](symbiotic associations). ويبدو أن الميكروبات لها مجال متسع يخما يختص بقابليتها للارتباط مع كائنات أخرى، كالتعايش commensalism عند البكتيريا في الأمعاء الذي يوشك أن يكون عرضيا casual إلا أنه لازم للتغذية في كثير من الحيوانات، وكذلك الارتباط بين البكتيريا العقدية على الجذور والنباتات البقلية وهو ارتباط جبري ولا يستطيع أحد الشريكين وحده فيه أن يثبت النتروجين، وكذلك العلاقة الوثيقة للكراثيديا المتكافلة symbiotic crithidia التي تعيش داخل جبلة الخلية وتتكاثر معها، وكذلك التطفل التام عند لاقمات البكتيريا المعتدلة، وأخيرا فقدان الفردية التام الذي يلزم-إن صحت هذه النظرية-حين يصبح الطفيلي أو المتكافل عضيا صغيرا organelle مثل الكلوروبلاستات. وليس التطور-كما رأينا-متفرقا بالكلية. ويبدو محتملا أن الارتباطات الوثيقة المتزايدة قد نشأت خلال الزمن التطوري، وأدت إلى ظهور كائنات جديدة بأسلوب يمكن أن يوصف بأنه تلاحمي. وقد تكون خارطة التطور أشبه بالشبكة منها بشجرة العائلة. وإذا حدثت هذه الارتباطات تلقائيا فلماذا لا نحدثها عن قصد ؟ ألا يكون مناسبا مثلا أن ننقل خصائص تثبيت النتروجين إلى القمح وبذلك نتخطى استخدام المخصبات الكيماوية أو زراعة المحاصيل البقلية [8] ؟ وليست النباتات بالكائنات الوحيدة التي نتناولها على هذا النحو، ففي مقدورنا الآن بعد دراسة الميكروبات أن نرى-مبدئيا-كيف نغير وراثتنا نحن.

لقد أدى فهم الميكروبات إلى كشف آفاق جديدة للمستقبل وسوف يظل الأمر كذلك. وعلينا أن نتعلم العيش مع احتمالات قدرتنا على توليد جديد للأفراد من خلايا مزارع الأنسجة[9]، وترقية ذكاء الحيوانات وتغيير خصائصها عن قصد، وكذلك تغيير وراثة السلالات حتى لدى الإنسان عن قصد[10] حتى تتكيف للسفر في الفضاء أو الحياة على كواكب لا تكرم وفادة الضيف. ومن المتصور بعد آلاف السنين في المستقبل أن مخلوقا كان من قبل إنسانا ربما سوف يقابل كائنا ذكيا مختزلا للكبريتات على أرضه، حينما يعود إليها بعد أن قضى لم الإنسان قرونا عديدة من السفر في أنحاء الفضاء. وستكون دراسة الميكروبات قد أسهمت بدورها الرئيس في

مثل هذه التوقعات، وفيها يكمن أبلغ الأهمية للميكروبات في مستقبل الجنس البشري. ولكن لمثل هذه التصورات توقعات مرعبة لإساءة الاستعمال. فلنأمل أن يخلص الإنسان من طفولته البادية للعيان اليوم قبل أن تصب هذه التوقعات حقيقة بزمن طويل. إن العلم محايد من ناحية المبادئ والأخلاق وربما كان ذلك من نكد الطالع، وهو كذلك لا يعود القهقرى irreversible. وإنما تكون جرائر العلم هي من صنع الجنس البشري به. وذاك أدعى الأسباب إلى الفزع من بعض جوانبه-وان كان مشيرا-لدى العلماء خاصة.

المصطلحات

1- أجسام مضادة (مواد المناعة) :Antibodies

مواد بروتينية تتولد نتيجة استجابة الحيوانات العليا لمواد غريبة-تكون عادة ميكروبات-تدخل أجسامها. وإذا عادت المواد الغريبة ساعدت المواد المضادة في التخلص منها.

2- أنزيم :Enzyme

مادة بروتينية لا يعتريها نفسها التغير ولكنها تعجل بالتفاعل البيوكيماوي ولولاها لكان من العسير أن يحدث هذا التفاعل.

3- أيون :Ion

ذرة أو جزئ يحمل شحنة كهربية.

4- تسامى :Sublimation

تحول المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون ذوبان.

5- تعايش :Commensalism

خاصية العيش دون أذى ولكن في ارتباط مستقل مع كائن آخر.

6- تكافل :Symbiosis

ارتباط بين كائنين مختلفين يتعلق بالاعتماد المتبادل ويكون الشريكان متكافلين Symbionts

7- تمثيل ضوئي :Photosyntesis

خاصية تكوين المادة العضوية من ثاني أكسيد الكربون باستخدام طاقة الإشعاع في الضوء وهي العملية الأساسية في نمو النباتات الخضراء.

8- جبِلّة (بروتو بلازم) :Protoplasm

المحتويات الحية في الخلية.

9- جرثومة :Spore

صورة كامنة للميكروب قادرة على زيادة المقاومة للحرارة والجفاف والتطهير.

10- حركة Motility خاصية القدرة على الحركة الإرادية.

11- حصيرة فطرية Mycelium حصائر فطرية :Mycelia
تفرعات من الفطريات أشبه بالخيوط.

12- حمض ب أكسى ريبونيكلييك ح دن :Deoxyribonucleic acid D N A
مادة متبلمرة طبيعية تحمل المعلومات الوراثية التي تحدد صفات الكائن

13- حمض الريبو نيكلييك (ح ر ن) :Ribonucleic acid R N A
مادة طبيعية تختص بنقل المعلومات الوراثية وتفسيرها.

14- حافز المناعة :Antigen
مادة مثل سموم البكتيريا تحفز على تكوين الأجسام المضادة antibodies في دم أو أنسجة الكائنات العليا.

15- ذاتية التغذية :Autotrophs
كائنات قادرة على النمو على حساب عناصر غذائية كلها من المواد غير العضوية.

16- رذاذ :Aerosol
قُطيرات معلقة في الهواء وهي دقيقة جدا بحيث ترسب ببطء بالغ.

17- مزرعة مستمرة :Continuous Culture
مزرعة من الميكروبات تغذى ببطء واستمرار بوسط النمو حتى تتكاثر الميكروبات باستمرار.

18 مستتبت غذائي :Substrates
المكونات الغذائية التي تستخدمها الميكروبات في الوسط للنمو.

19- سمين (أوتوكسين) :Toxin
بروتين سام من أصل ميكروبي عادة.

20- ضوء كيماوي :Photochemical
تفاعل كيماوي تسببه أشعة الضوء.

21- طفرة :Mutation
تغير كيماوي في ح د ن يؤدي إلى تغير في الصفات الموروثة إلا إذا كانت الطفرة قاتلة. ويسمى الكائن الذي يتعرض لمثل هذا التغير طافرا mutant.

22- عضوية التغذية :Heterotrophs
كائنات تحتاج إلى مواد عضوية حتى تستطيع النمو.

23- علاج كيماوي :Chemotherapy

علم علاج الأمراض باستخدام الكيماويات.

24- عصى صغير داخل الخلية :Organelle

تراكيب داخل الخلية لها وظائف مشابهة للأعضاء في الميتازوا (الكائنات متعددة الخلايا).

25- غلاف حيوي :Biosphere

طبقة الكوكب التي تعيش فيها الكائنات الحية.

26- فيتامين :Vitamin

مادة عضوية لازمة بكميات قليلة من أجل نمو الكائن وصحته.

27- ميكروب هوائي :Aerobe

ميكروب يتنفس باستهلاك الأكسجين في الهواء.

28- ميكروب لا هوائي :Anaerobe

ميكروب لا يستخدم أكسجين الهواء في تنفسه.

29- ميكروب محب للضغط (ميكروب بار وفيلي) :Barophile

ميكروب قادر على النمو تحت ضغوط عالية جدا.

30- ميكروب محب للملوحة (ميكروب هالوفيلي) :Halophile

ميكروب قادر على النمو في محلول تزيد نسبة الملح (كلوريد الصوديوم) فيه عن ثلاثة في المائة. ومثل هذا التركيز في المحلول يقتل ميكروبات المياه العذبة.

31- ميكروب محب للبرودة (ميكروب سيكروفيلي) :Psychrophile

ميكروب قادر على النمو السريع عند درجة حرارة أقل من 20 مئوية.

32- ميكروب محب للحرارة (ميكروب ثيرموفيلي) :Thermophile

ميكروب قادر على النمو عند درجة حرارة أعلى من 40- 45 لرجة مئوية وهي كافية لقتل الميكروبات العادية.

33- مشوه للجنين :Teratogenic

34- مصل الدم :Serum

الجزء السائل في الدم ولا لون له.

35- المعدة الأولى في الحيوان المجتر :Rumen

36- منطقة باردة في البحر :Psychrosphere

تكون فيها الحرارة منخفضة ولا تتعرض لتغيرات فصلية.

37- منطقة حرارية في البحر :Thermosphere

وهي المنطقة العليا في البحر وتتعرض لتغيرات فصلية.

38- منطقة حرارية فاصلة :Thermocline

وهي المنطقة التي تفصل بين المنطقة الحرارية والمنطقة الباردة في البحر.

39- ميتازوا : :Metazoa

حيوانات متعددة الخلايا.

40- مناطق دائمة التجمد :Permafrost

مناطق في القطب الشمالي والجنوبي لا تذوب ثلوجها في الصيف.

41- مرضى :Pathogenic

ميكروب يسبب المرض.

42- نظام كبريتى :Sulfuretun

عالم دقيق يتعلق بالبكتريا الرئيسية في دورة الكبريت.

43- وسط : Medium

هو البيئة التي تنمو فيها الميكروبات.

44- كلوروبلاست :Chloroplast

تركيب ضئيل في خلايا الميكروبات وكائنات أعلى ويقوم بعملية التمثيل الضوئي.

45- لاقم البكتيريا (بكتيريوفاج) :Bacteriophage

فيروس يتطفل على البكتيريا.

المراجـع

Bibliographical Note

The subject of microbiology is not well documented as far textbooks and elementary expositions are concerned. There are many books dealing with branched of the subject: bacteriology (medical and agricultural). Industrial microbiology, microbial genetics, microbial biochemistry are examples, but even in these specialized areas of the subject few books combine comprehensiveness, readability and comprehensibility at an elementary level. Thus the list that follows is a personal selection of books I happen to be aware of and that I know are available; the omission of a title familiar to the reader does not mean that it is unworthy.

General microbiology

Few authors have attempted a synoptic account of microbiology as a discipline in its own right. Two creditable attempts, pitched at the sixth-former's or first year undergraduate's level, are: Hawker,L. S. and others: An Introduction to the Biology of Micro-organisms, Edward Arnold, 1960.

Stanier, R.Y, Duodoroff, M and Adelberg, E A.: General Microbiology, Macmillan, 1963.

A useful primer for absolute beginners is:

Vines, A.E. and Rees, N.: The Microbes, Pitman's, 1967.

Economic Microbiology

There is no comprehensive Work on economic microbiology at any level. The industrial side can be filled in with the aid of several standard works, notably:

MICROBES AND MAN

Rose, A. H.: Industrial Microbiology, Butterworth, 1961- which does not assume too much basic knowledge.

Smith, G.: Introduction to Industrial Mycology, 6th Ed., Arnold, 1969.

Medical Microbiology

I am not aware of any popular account of this field; a medical student's crib probably contains information in its most concentrated form. A standard work is:

Cruickshank, R.: Medical Microbiology, E. & S. Livingston, 1965.

Microbial Ecology

The author of the first good book on this subject (published in 1966) had realized by 1967 that it would soon need revision; nevertheless, it is a good start:

Brock, T. D.: Principles of Microbial Ecology, Prentice-Hall, New York, 1966.

Microbial Chemistry

Several books exist on this subject; a brisk account for students with reference to more advanced

matters, is:

Rose, A. H. Chemical Microbiology, 2nd Ed., Butterworth, 1968.

Microbial Genetics

A popular account of recent developments in this rapidly changing field is:

Clowes, R.: The Structure of Life, Penguin Books, 1967.

Origin of Life

An accurate, entertaining and sometimes idiosyncratic account by one pf the major contributors to this field is:

Bernal, J.D.: The Origin of Life, Weidenfeld & Nicolson, 1967.

BIBLIOGRAPGICAL NOTE

Chemistry

Amplification of the purely chemical matters that I alluded to in Chapters1 and 6 should be found in any ordinary textbook of chemistry.

A good up-to-date one is:

Buttle, J.W., Daniels, D.J. and Beckett, P.J.: Chemistry:

A Unified Approach, Butterworth, 1966.

الهوامش

هوامش الفصل الأول

(1) الدياتومات: طحالب وحيدة الخلية، , تدخل مادة السيليكا في تركيب جدر خلاياها (المترجم).

(2) البلانكتون: Plankton يتكون من كائنات نباتية وحيوانية بالغة الدقة معلقة في الماء وتتغذى عليها الحيوانات البحرية (المترجم).

هوامش الفصل الثاني

(1) الميكروبيولوجيا: علم يتناول بيولوجية الكائنات الدقيقة كالفيروسات والبكتيريا والفطريات والطحالب وحيدة الخلية والحيوانات الأولية (البروتوزوا) (المترجم).

(2) هناك تجاوز واضح من قبل المؤلف، فليس لويس باستير-رغم شانه الذي لا ينكر-إلا واحدا من علماء عدة سابقين ومعاصرين له شاركوا جميعا في وضع أسس الميكروبيولوجيا. بل لعل الفضل الأول في هذا المجال يرجع إلى دراسات الحسن بن الهيثم في القرن العاشر الميلادي على العدسات المكبرة والتي مكنت من رؤية الأحياء الدقيقة فيما بعد. (المراجع).

(3) والنباتات (ا لمراجع).

(4) كان الجدير بالمؤلف أن يسمي هذه المجموعة: الطحالب الدقيقة(Microalgae) ليميزها عن الطحالب الكبيرة(Macroalgae) والتي تصنف عادة، كما ذكر، ضمن عالم النباتات (المراجع).

(5) ويطلقون عليها حديثا الاسم البديل: عضوية. التغذية organotrophs (المراجع).

(6) تصنف حديثا ضمن البكتيريا، ويطلق عليها اسم البكتيريا الخضراء المزرقة Cyanobacteria (المراجع).

(7) الواقع أن البروتوزوا التي تسبب الأمراض الطفيلية في الإنسان اكثر من ذلك، كما نعرف في الطب. ومن أمثلتها الزحار الأميبي وغيره وكذلك مرض النوم والليشمانيا والملاريا. وضحايا هذه الأمراض تعد اليوم بالملايين في العالم. وربما كانت دراية المؤلف بعالم الميكروبات واسعة عميقة ولكنه يعترف في موضع آخر من الكتاب بأنه ليس طبيبا ولذلك لزم التنويه. (المترجم).

(8) فطر البنسليوم، وليس الأسبرجليس هو الذي يتميز بألوانه الضاربة إلى الزرقة. (المراجع).

(9) كانت الاكتينوميسيتات، وما زالت، تصنف ضمن البكتيريا، لا الفطريات (المراجع).

(10) هذا أمر لا محل للشك فيه. (المراجع).

(11) أو عصوية. (المراجع).

(12) لم ثبت هذا علميا بعد عدة تجارب، فاستبعدت هذه الفكرة تماما. (المراجع).

(13) مؤسسة في إنجلترا لتعريف وتجفيف وضغط وحفظ النباتات الراقية لاستخدامها كمراجع عالمية تساعد في التعرف على النباتات من قبل الدارسين. (المترجم).

(14) نعيش فل هذه البكتريا داخل الثلج المتجمد في بيئات دقيقة Microenvironments غير متجمدة ترتفع فيها الحرارة بشكل ملحوظ، نتيجة لأنشطة كائنات أخرى (المراجع).

(15) محبة الملوحة halophiles تعيش في الأوساط الملحية فقط، وكان الأصح استخدام لفظ محبة

الضغط الأوزموزي المرتفع Osmophiles لمحبة الملح أو السكر. (المراجع).

(16) وهي عندئذ غير ذاتية التغذية، بل عضوية التغذية (المراجع).

(17) أعناق ترجمة كلمةStalks الأصح أن تكون أشرطة ترجمة لكلمة Ribbons(المراجع).

(18) ثبت مؤخرا أن جميع هذه الأنواع من البكتيريا ليست ذاتية، إنما هي عضوية التغذية دون أدنى شك. وأكسدة الحديدوز تهتم بصورة تلقائية بواسطة الأكسجين الذائب في الماء، وذلك بعد تحرر هذه الأيونات من مواد عضوية كانت مرتبطة بها بعد أن تتغذى البكتيريا على هذه المواد العضوية (المراجع).

(19) واضح أن المؤلف يقصد «استخدام الأكسجين في التنفس أو عدم استخدامه» ولكنه أساء التعبير (المراجع).

(20) من الواضح أن المؤلف يقصد المواد العضوية فقط. أما الأملاح غير العضوية فلا غنى لكائن حي عنها أبدا. (المراجع 9).

هوامش الفصل الثالث

(1) النابضات الكونية guasars أجرام مجهولة خارج المجرة التي تشمل أرضنا، ويصدر منها نبضات من موجات الراديو والكهرباء كالتي تصدر من النجوم. (المرجع).

(2) البلانكتون plankton يتكون من عوالق الكائنات النباتية والحيوانية الدقيقة تطفو على الماء وتعيش عليها الأحياء المائية. (المرجع).

(3) ميكروبات على شكل عصيات تعيش في الأمعاء الغليظة دون أذى في العادة. وبعضها يسبب أحيانا الاضطرابات المعوية والتهابات المجاري البولية (المترجم).

(4) الدوسنتاريا، وهي إسهال بصحبه مخاط ودم، وقد يحدث معه التَّعَنِّي. (المترجم).

(5) ينقل المرض كذلك إلى الإنسان من الأرانب المصابة عند سلخها أو تداولها في المعامل. وتدخل الميكروبات من العين أو الفم أو سحجات الجلد، كما تجوز الإصابة به من الماء الملوث أو اللحم الملوث. ويسبب المرض حمى مرتفعة أياما طويلة-ويحدث ورم مؤلم في المكان الذي دخلت منه الميكروبات كالعين أو الجلد أو الفم والحلق. ويصحبه تضخم في الغدد الليمفاوية المحلية. وقد اصبح شفاء المرض الآن ميسورا بالمضادات الحيوية. (المترجم).

(6) أحد أناشيد اللهو عند الأطفال في إنجلترا والكثير من الدول الغربية ونصه:

Ring-a-Ring o' Roses A pocket Full of Posies (تمثيل العطاس) Atishoo-Atishoo We All Fall Down

ويشدو الأطفال متماسكين بأيديهم على هيئة حلقة ثم يسقطون أنفسهم عل الأرض عند بلوغ المقطع الأخير (المراجع

(7) كان ذلك عند أعداد الطبعة الأولى عام 1969 (المترجم).

(8) المقصود بالعدوى الإكلينيكية أن تظهر على المريض أعراض وعلامات المرض المعدي (المترجم).

(9) عند الشاطئ الجنوبي لأميركا الجنوبية. (المراجع).

(10) بلغ عدد الفيررسات الغدية (عام 1978) 47 نوعا منها 31 نوعا في الإنسان والباقي في الحيوان. (المترجم).

(11) التلزق: هو التصاق خلايا الدم بعضها إلى بعض (المترجم).

(12) الفيررسات النووية فيروسات دقيقة تتكون من حمض الريبوز النووي RNA (المترجم) والكلمة

مركبة من Pico أي صغير RNA و Virs (المراجع).

(13) بلغ عدد الفيروسات الأنفية مائة نوع حتى عام 1978 .(المترجم).

(14)Echo هي اختصار لكلمات: Enteric cytopathic human orphan وكان اكتشافها في الأصل في براز الأطفال المرضى. (المترجم)

(15) الكزاز أو التيتانوس tetanus يؤدي إلى زيادة في توتر العضلات وتشنجات عضلية مؤلمة وحمى. ومن أعراضه المبكرة توتر في عضلات الفك ويؤدي إلى صعوبة فتحه. ونسبة الوفيات عالية عند إهمال العلاج في الوقت المناسب (المترجم).

(16) يعطى اللقاح ضد الكزاز (التينانوس) بالإضافة إلى الدفتريا والسعال الديكي في طعم ثلاثي واحد للأطفال في السنة الأولى من العمر في الكويت الآن (المترجم).

(17) أعراض التسمم البوتيوليني هي ضعف في عضلات العين والبلعوم مع بحة في الصوت وقيء وإمساك (المترجم).

(18) الإنزيم Enzyme مادة بروتينية تؤدي (التي تسارع التفاعلات الكيماوية ولولا الأنزيمات لكان التفاعل بطيئا جدا وقد لا يحدث أصلا (المترجم).

(19) أصبحت هذه التسميات شائعة في لغتنا على أن الترجمة الدقيقة لـ antibodies antitoxins و antibiotics وما شابها ينبغي أن تكون على التوالي: ضد توكسينات وضد أجسام وضد حيوانات وهكذا. (المراجع).

(20) اصبح لهذه الأمراض الآن لقاحات تحتوي على فيروسات مروضة تؤدي عند تلقيح أناس بها إلى حفز أجهزة المناعة في الجسم على إنتاج مواد مضادة للعدوى وتؤدي إلى وقايته من الإصابة بالمرض (المترجم).

(21) مدينة في سكوتلاندة بشمال لبريطانيا. (المترجم).

(22) فاك أنواع من الفيروسات تتطفل على البكتيريا وتسمى لاقمات البكتيريا-وهي نوعية في تطفلها هذا-ومن ثم فمن معرفة نوع الفيروس يمكن التعرف على سلالة البكتيريا التي تصاب به. (المراجع).

(23) أعلنت منظمة الصحة العالمية في عام 1980 أنه تم استئصال الجدري في العالم كله. ولا شك أن الفضل يرجع (إلى تعميم التحصين ضد الجدري. (المترجم).

(24) اصبح من المعروف الآن أن العدوى تنتقل علاوة على الرذاذ بتناول الطعام والشراب الملوث. ويلعب الذباب دورا في نقل العدوى. (المترجم).

(25) مدينة من مقاطعة هاميشير في جنوب إنجلترا (المراجع).

(26) قدم الرياضي: مرض جلدي تسببه بعض الفطريات. ويظهر خاصة بين أصابع القدمين، فيؤدي إلى التقرحات. وكثيرا ما يصاب به الرياضيون عند سيرهم حفاة في أرض الملاعب، أو استحمامهم في المسابح العامة الملوثة بالفطريات (المترجم).

(27) جزر في المحيط الهادي South See Island(المراجع).

(28) رسام فرنسي شهير ولد (1848) وتوفي (1903). (المراجع)

(29) يوجد الآن لقاح ضد الحصبة الألمانية. ويتم تحصين البنات به في مرحلة الدراسة المتوسطة في مدارس الكويت. (المترجم).

(30) هناك لقاح ضد النكاف الآن كذلك، ولكن لا يتم استخدامه على نطاق واسع في البلاد العربية. (المترجم).

(31) بالإضافة إلى إفرازات الميكروبات المخاطية، ومادة عضوية من اللعاب تسمى جليكو بروتين. (المراجع).

(32) في الواقع هذه فقط هي المرحلة الأولى للتسوس-وتليها مرحلة أخطر بعد أن تتعرى الأسنان بفعل الأحماض، إذ تنتج البكتريا المذكورة أعلاه أنزيمات تحلل بروتينات الأسنان فتفسد الأخيرة تماما. (المراجع).

(33) تتفاعل الفلورين مع مركبات الكالسيوم في الطبقة السطحية من السن مكسبا إياها مقاومة شديدة لأثر الحامض (المراجع).

(34) تم بعد ذلك فلورة الماء في بريطانيا. (المترجم).

(35) أصدق ما يقال عن الخمر ما جاء في القرآن الكريم: «يسألونك عن الخمر والميسر قل فيهما إثم كبير ومنافع للناس وإثمهما اكبر من نفعهما» وقد ثبت يقينا في العمر الحاضر ما تؤدي إليه الخمر من مصائب جسمية ونفسية. ولعل ذلك من أسباب تحريمها في القرآن الكريم حيث يقول: «إنما الخمر والميسر والأنصاب والأزلام وجس من عمل الشيطان فاجتنبوه». (المترجم).

(36) ترجمة أصبحت ضائعة وهي توحي-خطا-بان المضادات لها صفة الحيوية. والأصح: الضد حيويات أو مضادات الحيوية (المراجع).

(37) ينبغي التنويه هنا بان المؤلف لا شك يقصد أعداد السلالات التي درست-ولا يمكن أن يكون قصده «أنواع الميكروبات Speces». ومع ذلك فأنني أرى أن هذا القول فيه مبالغة (المراجع).

(38) بلغت اليوم عدة مئات، وإن كان معظمها ساما للإنسان. (المراجع).

(39) زادت المجموعات المستخدمة الآن من المضادات الحيوية عن عشرة (المترجم).

(40) أصبحت هذه المعرفة مؤكدة للكثير من هذه العقاقير. بل نبت أن معظمها يقتل البكتريا بالفعل (المراجع).

(41) يحدث هذا في البلاد الأوروبية ولكن صرف المضادات الحيوية يتم بكل بساطة في البلاد العربية. وفي ذلك ما فيه من خطر ظهور سلالات من الميكروبات مقاومة للمضادات الحيوية فلا يفيد منها من يكون في أمس الحاجة إليها من المرضى فضلا عن إهدار المال والتعرض لبعض آثارها الجانبية (المترجم).

(42) يرجع المرض إلى جراثيم ميكروبات هوائية ويحدث عادة في مزارع المناطق الحارة والمعتدلة. وهو يصيب الحيوانات أصلا كالأبقار والأغنام والخيل والخنازير. ونكون جلود الحيوانات وأوبارها وأشعارها مصادر محتملة للعدوى. والمرض يصيب الجلد عادة ويؤدي إلى ورم والتهاب وتقرح وهو ما نسميه الجمرة الخبيثة ويصحبها تورم في الغدد الليمفاوية المحلية وقد يصيب الرئتين والجهاز الهضمي أيضا (المترجم).

(43) لا تستعمل لهذا الغرض الآن (غالبا) بل أن أهم استخدام لها م, في «مرض باركنسون» وغيره. (المراجع).

(44) ما زال الاهتمام بهذه المادة موجودا ولكنها باهظة التكاليف. وهناك أمل في استخدامها في علاج السرطان كذلك. (المترجم).

هوامش الفصل الرابع

(1) مسألة التولد التلقائي من ناحية أمل الحياة لا تتعارض مع الإيمان بالله كما هو واضح. فان

الأديان تؤمن بنشأة م آدم من التراب وقد جعل الله سبحانه من الماء كل شيء حي. وإنما أمره إذا أراد شيئًا أن يقول له كن فيكون (المترجم)

(2) ترجمة «traces-وكان الأجدر بالمؤلف من يكتب Variable amounts-أي كميات مختلفة، ليستقيم ذلك مع الواقع العلمي-فمعظم المعادن التي ذكرها تحتاجها الميكروبات بكميات كبيرة نسبيا. (المراجع).

(3) تؤكد هذه البكتيريا الكبريت أو الحديدوز منتجة طاقة كيميائية تستخدمها في تحويل ثاني أكسيد الكربون الجوي إلى سكر (المراجع).

(4) ترجمة كلمة Denitrity هي «يزنتر» أي يزيل النتروجين (المراجع).

(5) تنمو البكتيريا اللاهوائية في هذه الحالة في قاع الأنبوبة بمعزل من الأوكسجين الجوي (المراجع).

(6) يمكن اليوم زراعة خلايا وأنسجة حية من حيوانات-بما فيها الإنسان-أو نباتات راقية في أوساط غذائية معقمة، كما تزرع الميكروبات تماما. وتسمى هذه بمزارع الأنسجة (المراجع).

(7) أوشك اليوم أن يصبح هناك اتفاق عام على هذا الأمر (المراجع).

(8) بصدق هذا بالطبع من وجهة نظر الميكروبيولوجيا الطبية فقط. ولا يصدق مثلا من وجهة نظر «ميكروبيولوجيا التربة». (المراجع).

(9) قد تصل سعة بعض المستودعات إلى مئات الألوف س الجالونات. (المراجع)

(10) التسامي: مرور المادة من الحالة الصلبة إلى البخار، دون المرور بحالة السيولة. (المراجع)

(11) من تاريخ أعداد الكتاب. (المراجع)

(12) المليميكرون: جزء من المليون من المليمتر. (المراجع).

(13) يجب إلا يتبادر إلى الذهن أن هذا هو الاسم الكيماوي الصحيح للمركب. وCarbolic Cieid هو الاسم الدارج في إنجلترا (بريطانيا) لهذا المركب.. والفينول هو الاسم الكيماوي الصحيح (المراجع).

(14) وهو اسم تجاري.. . (مركب للكلورين). (المراجع).

(15) الكاتيون Cation في الكيمياء مادة تحمل شحنة كهربية موجبة. (المترجم).

(16) نسبة إلى مدينة في فرنسا تحمل هذا الاسم، حيث اكتشفت هذا المزيج أساسا لمكافحة الفطريات التي نصيب مزارع العنب. (المراجع).

(17) حديث فيه مجافاة للواقع العلمي. (المراجع).

هوامش الفصل الخامس

(1) والسيليولوز أحد مكونه له (المراجع).

(2) البري بري مرض ينشأ عن النقص في بعض عناصر فيتامين ب ويسبب أعراضا عصبية كالشلل والتهاب الأعصاب في الأطراف وتد بسب التورم وهبوط القلب. وهو يصيب الذين يعتمدون على الأرز المضروب في غذائهم بصفة أساسية وقد يصيب مدمني الخمر والمهملين في تحري الغذاء الصحي. (المترجم).

(3) هكذا وصفها المؤلف-رغم أنها من الناحية العلمية ليست من الفطريات البدائية. (المراجع).

(4) مقاطعة في استراليا .. (المراجع).

(5) طور دودي الشكل لبعض الفراش يلتهم أوراق النبات الخضراء. (المراجع).

(6) تربة مكونة من نباتات متحللة ومُكَرْبَنَة جزئيا.. تستخدم في المواقد... (المراجع).
(7) غني عن البيان أن الدين الإسلامي يحرم الخمر ولا يأبى أن يتمتع المسلم باللذات المباحة في قصد واعتدال. وإذا كان العقل من مزايا الإنسان المتميزة فليس من المعقول أن يلجأ إلى طمسه باختياره. (المترجم).
(8) يسمى أيضا التحلمو (المراجع).
(9) حمض النفاحيك. (المراجع).
(10) حمض اللبنيك. (المراجع).
(11) أنا مدين للسيدة بيريل كيلي berly Kelly من هوف Hove في هذه الوصفة المجربة (المؤلف).
(12) ليكونوستك وطيد العلاقة في الواقع بستربتوكوكس وان كان الأخير يعيش أيضا في اللبن ومن ثم فله علاقة مابلاكتوباسلس. ويرجع اثر ليكونوستك في اللبن المخيض إلى أنه يفرز مادة سكرية مخاطية هي المسئولة عن غلظة قوام هذا اللبن (المراجع).
(13) حلوى هلامية من اللبن المحلى. (المراجع).
(14) أنواع الجبن الأبيض. (المراجع).
(15) كلمة ألمانية في الأصل وترجمتها الحرفية: العشب الحامض-ويقدم كأحد أنواع الخضر. (المراجع).
(16) علف جاف ينتج من حشائش خضراء لتغذية الماشية في فصل الثلج. (المراجع)
(17) الاسم الصحيح: كوبا لامين Cobalamin (المراجع).
(18) تسمى كتلة الفطر النامية على سطح غذائي سائل بالحصيرة Mycelium. (المراجع).
(19) ناتج ثانوي أسود من صناعة السكر، غني بهذه المادة وبالأملاح غير العضوية. (المترجم).
(20) تتم هذه العمليات اليوم على مستوى صناعي بنجاح في عديد من الدول الصناعية مثل إنجلترا وألمانيا الغربية (المراجع).

هوامش الفصل السادس

(1) أي في داخل أجزاء جسم الحيوان المتحلل، حيث دورة الكبريت = النظام الكبريتي. (المراجع).
(2) الأنيون anion ذرة أو مجموعة ذرية شحنتها الكهربية سالبة (المترجم).
(3) اصبح هذا الأمر معروفا اليوم، وقد فصل في حينه. (المراجع).
(4) الترجمة الحرفية هي: «وليام ذو التلوي» وهو موضوع لأسطورة ايرلندية له علاقة بظهور بعض الأرواح المخداعة في المناطق الخالية والمستنقعات.. . أما تعليلها العلمي فهو احتراق غاز الميثان. (المراجع).
(5) هكذا وردت في الأمل. وواضح أن هذا أخطأ، وكأن المقصود «صناعة الكبريت» وليس حمض الكبريتيك. (المراجع).
(6) يتم هذا اليوم بالفعل بنجاح في كثير من دول العالم الثالث، منها الهند وباكستان-كما أن المشروع قيد البحث في المركز القوى للبحوث بمصر. (المراجع).
(7) مؤسسة حكومية بريطانية (المراجع).
(8) جبن الركفورد (المراجع).
(10) تعني كيماويا «المركبات عديدة الروابط الكربونية غير المشبعة». (المراجع).

هوامش الفصل السابع

(1) ذكر المؤلف هنا «كل قدر من الطعام يملأ قمع الخياطة» وهو ما يساوي على وجه التقريب جراما وزنا (المراجع).

(2) ثبت الآن أن لهذه الأملاح علاقة ببعض أنواع السرطان، وحرمت نماما إضافتها إلى الأطعمة. (المراجع).

(3) ترجمة ما أورده المؤلف بالإنجليزية Sulphur Stinker-وصحتها فيما أعلم Sulphide Stinker-ومن ثم وجب أن بكون الأسم الصحيح لهذا الفساد «الفتن الكبريتيدي»-وهذا أقرب إلى العقل لأن كبريتيد الهيدروجين وليس الكبريت هو الذي يتميز بالرائحة الكريهة-كما يطلق عليه أيضا «الفساد الكبريتيدي» Sulphide Spoilage (المراجع).

(4) يتألف جزئ البوليمر من العديد من الجزيئات المتماثلة المكررة وجزئ المطاط من هذا النوع. أما اللاتكس Latix-أي «اللبن النباتي» فهو السائل الأبيض الذي يجنى من أشجار المطاط ويمثل المادة الخام في إنتاجه. (المراجع).

(5) نتيجة لتكوين كبريتيد النحاس الأسود اللون. (المراجع)

(6) مدينة إنجليزية بها «حمامات كبريتية» لا تزال تستعمل، وقد بناها الرومان. (المراجع).

(7) الماء العسر يحتوي على نسبة مرتفعة من كبريتات الكالسيوم. ومن ثم فهو لا ينتج إلا رغوة فقيرة للغاية مع الصابون (المراجع).

(8) يقصد بريطانيا. (المراجع).

(9) مقاطعة إنجليزية. (المراجع).

(10) الاستفسار هنا للمسيحيين طبعا. (المراجع).

هوامش الفصل الثامن

(1) بقصد بريطانيا. (المراجع).

(2) علمت من الأستاذ هنتر hunter منذ الطبعة الأولى لهذا الكتاب أن مياه لندن عند شربها قد مرت خلال الكلى في سبعة أشخاص من قبل.. . وأتساءل الآن عن كيفية إجراء مثل هذه الحسبة. (المؤلف).

(3) وقت الكتابة. (المراجع).

(4) نوع من فطر عيش الغراب يؤكل (المراجع).

هوامش الفصل العاشر

(1) أيا كانت الفروض في نشأة الحياة كما نصور العلماء فان هذا لا يناقض القول بوجود الله، كما لا يخفى وأن الله يرجع إليه الأمر كله فهو الذي أعطى كل شيء خلقه. (المترجم).

(2) هناك عدم وضوح في الأصل الإنجليزي بخصوص هذا الموضوع. وللتسهيل على القارئ نذكر أن التغذية الذاتية تعني إنتاج المادة العضوية من ثاني أكسيد الكربون. على أن مثل هذا التفاعل يحتاج إلى طاقة. وتختلف الكائنات ذاتية التغذية فيما بينها في مصدر هذه الطاقة. فالكائنات التي تستخدم الطاقة الضوئية، لتخليق المادة العضوية من ثاني أكسيد الكربون تسمى ذاتية

التغذية-أما الكائنات الأخرى (وكلها أنواع من البكتيريا) التي تولد الطاقة من خلال أكسدة بعض المواد غير العضوية، ثم تستعمل هذه الطاقة لإنتاج مادتها العضوية، فتسمى ذاتية التغذية الكيميائية، لذلك يكرر المؤلف أن هذه الكائنات تزاوج بين تفاعل أكسدة من ناحية لإنتاج الطاقة وتفاعلات يتحول فيها ثاني أكسيد الكربون إلى مادة عضوية باستخدام الطاقة الناتجة عن التفاعل الأول، ثم إنه يشير بعد ذلك إلى كائنات تحصل على الطاقة من أكسدة مادة غير عضوية، ولكنها تمثل مادتها العضوية المعقدة من مواد عضوية بسيطة، بدلا من ثاني أكسيد الكربون (المراجع).

(3) يقصد المؤلف الكائنات التي تنتج الطاقة من أكسدة مادة غير عضوية وتستعمل هذه الطاقة في تخليق المواد العضوية المعقدة من مواد عضوية بسيطة وليس من ثاني أكسيد الكربون. (المراجع).

(4) من الواضح أن المؤلف يقصد «بذاتية التغذية الحقيقية» فقط الكائنات ذاتية التغذية الضوئية أما الكائنات «ذاتية التغذية الكيماوية» التي تحول ثاني أكسيد الكربون أيضا إلى مادة عضوية فهو يوشك أن يتجاهلها في حديثه بالرغم من أن صفة «ذاتية التغذية الحقيقية» تنطبق عليها بنفس القدر (المراجع).

(5) بقصد المؤلف بـ «الكلاسيكيون» الرجال الذين درسوا اللغات اليونانية واللاتينية، لأن porphyrin مشتقة من الأصل اليوناني Porphyr ويعني «قرمزيا». (المراجع).

(6) وقت إعداد الكتاب. (المراجع).

(7) كلمة «طفيلية» هنا ليست صحيحة من أن حية العلمية، إذ أجمع العلماء على أن =

=الميكروبات الطفيلية هي فقط التي تعيش على المادة العضوية من عوائل حية. أما ما قصده المؤلف، فهو أن هذه الكائنات «رقية» أو «مترممة» = Saprophyric أي تتغذى بمادة عضوية ميتة. (المراجع).

(8) اتفق البتكريولوجيون اليوم على تصنيف الميكوبلازمات ضمن البكتريا (المراجع).

(9) اختصار «حمض ريبو نيكلييك». (المراجع).

(10) لا هي ولا حق الفيروسات نعتبر علميا من ضمن الأحياء. بل تقع على الحدود الفاصلة بين المادة غير الحية والمخلوقات الحية. (المراجع).

(11) كان مندل راهبا ومدرسا يعيش في تشيكوسلوفاكيا، ويعتبر مؤسس علم الوراثة، لأبحاثه الرائدة في الوراثة في عالم النبات. (المترجم).

HFR(12) هي الأخرى الأولى من التسمية الإنجليزية High Frequency of recombinahon في وقد ترجمناها بالقياس إلى ن م إ، وهي الأحرف الأولى من التسمية العربية «نسبة مرتفعة من إعادة الاتحاد». (المراجع).

(13) اكتشف في بعد أن العوامل الوراثية في البكتيريا لا يقتصر وجودها على الصبغي، إنما هناك في السيتوبلازم وحدات وراثية تتكون من ح د ن أيضا دقيقة للغاية حتى أنها لا نرى إلا بالمجهر الإلكتروني. وتسمى البلازميدات Plasmids. والعامل الوراثي المسئول عن «الذكورة» في البكتيريا محمول أملا عل أحد هذه البلازميدات. ولكن يحدث أحيانا أن يلتصق هذا البلازميد بالصبغي في الخلية فيخلع عليه صفة القدرة على الانتقال إلى الخلية المؤنثة (المستقبلة) أثناء التزاوج (المراجع).

(14) هذا التخمين باطل من وجوه عدة. فأساس التزاوج في الكائنات الأرقى يختلف تماما عما يحدث في البكتيريا التي تحتل في ممالك الأحياء وضعا مزيدا خاصا . نم أن التخمين مبنى على

فرضية خاطئة من الأساس مؤداها أن التكاثر الجنسي في البكتيريا نشأ كآلية لنقل فيروس بكتيري. والواقع أن العلماء متفقون على أن الفيروسات-من الناحية التطورية، وكما ذكر المؤلف نفسه في موضع آخر من هذا الكتاب-لم تظهر إلا حديثا جدا، إذ إنها تحتاج إلى عوائلها التي سبقتها في الظهور. وأغلب الظن أن التكاثر الجنسي في الأحياء أسبق من الفيروسات في الظهور على الأرض بكثير. (المراجع).

(15) أصبح هذا التخمين واقعا الآن، من خلال ما اصبح يعرف بالهندسة الوراثية، وان لم يكن قد طبق بعد على الإنسان. (المراجع).

(16) حيث تعيش مثل هذه الميكروبات. (المراجع).

هوامش الفصل الحادي عشر

(1) طائر كالصقور يقتات السمك. (المراجع).

(2) هذه المسالة لا تخلو من مبالغة كبيرة. والواقع أن بني هلال خرجوا من مصر في القرن الحادي غر الميلادي. وكان ذلك بتشجيع من الحكم الفاطمي واتجهوا إلى شمال أفريقيا وإذا كانوا بحكم بداوتهم قد ارتكبوا بعض أعمال العنف فليس من المعقول أنهم أحالوا هذه المناطق إلى صحراء جرداء. وقد سبق أن فخ العرب بلاد فارس والشام ومصر فلماذا لم تتحول هي الأخرى كذلك إلى صحارى ؟ ! وهل خلا عصر الحضارة الحديثة من أفانين التدمير والتخريب ؟ ! (المترجم).

(3) من تاريخ أعداد هذا الكتاب. (المراجع).

(4) الأمراض العصابية ترجع إلى اضطراب نفسي مثل القلق والمخاوف والوساوس. ويشعر المريض باضطرابه ولكنه قد يعجز عن التغلب عليه بغير مشورة الطبيب. وهي تختلف عن الأمراض العقلية التي لا يحس فيها المريض بمرضه وإنما يدرك الناس من حوله ذلك. (المترجم).

(5) يقول هذا الإصحاح: «فقال لهم ربشاقي هل إلى سيدك وإليك أرسلني سيدي لكي أتكلم بهذا الكلام. أليس إلى الرجال الجالسين على السور ليأكلوا عذرتهم ويشربوا بولهم معكم». (المترجم).

(6) عادة تترجم بـ «المجرة». (المراجع)

(7) هذا مجرد تخمين، لم يقم عليه أي دليل حق اليوم. (المراجع).

(8) تحقق ذلك الآن على مستوى المختبر في معهد ماكس بلانك لتربية النبات بألمانيا الغربية-كما أن هناك سيلا

من مثل هذه الدراسات سوف تثمر قريبا بالتأكيد (المراجع)

(9) تحقق ذلك الآن على مستوى النباتات الراقية. وأيضا-فيما أعلم-على مستوى بعض الحيوانات. (المراجع).

(10) بعد النجاحات المذهلة في هذه الحقول بدا القلق يساور البشرية. وهناك تشريعات في معظم دول العالم اليوم تحرم إجراء أو تطبيق الدراسات الخاصة بالهندسة الوراثية على الإنسان-ولا يسع أي مؤمن بحقوق الإنسان، إلا أن يقف في جانب هذه التشريعات. (المراجع).

المؤلف في سطور:

جون بوستجيت

* ينتمي إلى أسرة علمية عريقة.
* أستاذ الأحياء الدقيقة في جامعة سسكس بإنجلترا.
* درس في جامعة أكسفورد الكيمياء ثم كيمياء الأحياء الدقيقة، وقام بعد تخرجه بأبحاث. كثيرة كما عمل أستاذا زائرا في بعض الجامعات الأمريكية.

المترجم

الدكتور عزت عبد الرحمن شعلان.

* من مواليد مصر عام 1931.
* بكالوريوس في الطب والجراحة جامعة. القاهرة عام 1955.
* دبلوم في طب المناطق الحارة والصحة العامة من ليفربول عام 1969.
* ماجستير في الصحة العامة من بلجيكا عام 1972.
* عمل طبيبا بوزارة الصحة العامة في الكويت من 1962-1981.
* له ترجمات منها: المكنة البشرية والتربية الرياضية، مرضى وأطباء، موجز تاريخ العلم.

المراجعان

الدكتور عبد الرزاق مشاري العدواني.

* ولد في الكويت.
* بكالوريوس طب جامعة لندن 1958.
* شهادة تخصص في الأمراض الباطنية من. جامعة لندن 1964.



الإسلام وحقوق الإنسان

تأليف

د. محمد عمارة

* ماجستير في الصحة العامة من جامعة هارفارد 1970.
* أستاذ مساعد وعميد كلية الطب بالوكالة جامعة الكويت 1970.
* وزير الصحة العامة 1971- 1975.
* مدير جامعة الكويت 1980.
* شغل عدة مناصب علمية وشارك في عدد من المؤتمرات، وهو عضو في عدد من الجمعيات العلمية.

الدكتور سمير سيد أحمد رضوان

* من مواليد محافظة الشرقية (جمهورية مصر العربية) عام 1938.
* بكالوريوس في العلوم من كلية العلوم جامعة عين شمس عام 1958.
* ماجستير في العلوم من جامعة عين شمس 1961.
* دكتوراه في العلوم من جامعة مونستر بألمانيا الغربية عام 1964.
* تدرج في وظائف التدريس بجامعة عين شمس من معيد عام 1958 إلى أستاذ عام 1976.
* يعمل أستاذا بقسم النبات والميكروبولوجي بكلية العلوم جامعة الكويت منذ عام 1983 حتى الآن
* حصل على جائزة مؤسسة الكويت للتقدم العلمي في العلوم البيولوجية عام 1980. وجائزة الدولة (مصر) في العلوم البيولوجية في نفس العام.
* عضو في جمعيات علمية.